

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra výrobních strojů a konstruování



**Aplikace on-line systému Octavis effector na
mlecí linku BIVIS**

***The Application of the On-line System Octavis
Efector on Milling Production Line BIVIS***

Student:

Bc. Jan Kopřivík

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Jan Blata

Ostrava 2010

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jan Kopřivík**

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství

Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství

Specializace: 72 Technická diagnostika, opravy a udržování

Téma: **Aplikace on-line systému Octavis effector na mlecí linku BIVIS**

**The Application of the On-line System Octavis Effector on Milling
Production Line BIVIS.**

Zásady pro vypracování:

Zpracujte ve formě studie návrh aplikace on-line systému Octavis effector na mlecí linku BIVIS pro kontrolu technického stavu zařízení. Proved'te také vyhodnocení provozních měření.

V rámci zadání zpracujte:

1. Rešerši a analýzu dané problematiky.
2. Ideově technický návrh řešení dané problematiky.
3. Zpracujte aplikaci na daný objekt.
4. Proved'te konkrétní provozní vyhodnocení.

Další bližší informace provede firma ESOS Ostrava, s.r.o.

Seznam doporučené odborné literatury:

HELEBRANT, F. – ZIEGLER, J.: *Technická diagnostika a spolehlivost II – Vibrodiagnostika*. VŠB – TU Ostrava, Ostrava 2004, 1. vydání, 178 s., ISBN 80 – 248 – 0650 – 9.

TŮMA, J.: *Zpracování signálů získaných z mechanických systémů užitím FFT*. Sdělovací technika Praha 1997, 174 s., ISBN 80-901936-1-7.

MILÁČEK, S.: *Měření a vyhodnocování mechanických veličin*. ČVUT v Praze 2001, 231 s., ISBN 80.01-02417-2

JENČÍK, J. – VOLF, J. A KOL.: *Technická měření*. ČVUT v Praze 2003, 212 s., ISBN 80-01-02138-6

Podkladové materiály - ADASH s.r.o., Brüel Kjaer, SKF Ložiska a.s.

Rozsah práce: min. 40 stran textu mimo přílohy.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jan Blata**

Datum zadání: 10.11.2009

Datum odevzdání: 21.05.2010

doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář
vedoucí katedry



prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty

Poděkování:

Děkuji panu Ing. Lukášovi Heisigovi za velmi obsáhlé konzultace a poskytování informací k dané problematice. Dále za poskytnutí firemních materiálů a pomoci při měření a vyhodnocování naměřených údajů.

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě.....

.....

podpis studenta

Prohlašuji, že:

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/2000 Sb. - autorský zákon, zejména §35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 - školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB - TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB – TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB - TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB - TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo - diplomovou práci nebo poskytnou licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB - TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB - TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě

.....

podpis studenta

Adresa trvalého pobytu studenta:

Jan Kopřivík

Horní 1

792 01 Bruntál

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

KOPŘIVÍK, J. Aplikace on-line systému Octavis Efector na mlecí linku BIVIS.

Ostrava: Katedra výrobních strojů a konstruování, Fakulta strojní VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2010, 60s. Diplomová práce, vedoucí: Ing. Jan Blata.

Diplomová práce je zaměřena na údržbu strojů prostřednictvím on-line diagnostiky. V úvodu jsou zmíněny různé strategie údržby s popisem jejich kladů a záporů. Následuje přehled nejpoužívanějších diagnostických metod a stručné předvedení několika on-line diagnostických systémů od různých výrobců.

Praktická část popisuje aplikaci systému Octavis Effector na mlecí linku BIVIS. Umístění snímačů, rozmanitost dodávaného software a vyhodnocení naměřených hodnot.

ANNOTATION OF BACHALOR WORK

KOPŘIVÍK, J. The application of the on-line systém Octavis Efector on the milling production line BIVIS. Ostrava: Department of Production Machines and Design, Faculty of Mechanical Engineering VŠB - Technical University of Ostrava, 2010, 60p. Thesis, head: Ing. Jan Blata.

The graduation theses is focused on the maintainance of the machines by means of on-line diagnostics. In the introduction there are mentioned different strategies of the maintainance with the description of their positives and negatives. Summary of the most used diagnostic methods and brief demonstration of several on-line diagnostic systems from different manufacturers (producers) follow.

The practical part describes the application of the system Octavias Effector on the milling production line BIVIS. Placing (location) of sensors, diversity (variety) of supplied software and evaluation of the measured values

OBSAH

| | | |
|----------|--|-----------|
| | Seznam použitých značek a symbolů | 9 |
| 1 | Úvod | 11 |
| 2 | Údržba a její strategie | 13 |
| | 2.1 Údržba po poruše | 15 |
| | 2.2 Údržba podle časového plánu (preventivní) | 16 |
| | 2.3 Údržba podle skutečného stavu (prediktivní a proaktivní) | 17 |
| 3 | Hospodárnost | 20 |
| 4 | Pozice technické diagnostiky v systému údržby | 21 |
| 5 | Používané metody technické diagnostiky | 22 |
| 6 | Vibrodiagnostika | 23 |
| | 6.1 Mechanické kmitání | 23 |
| | 6.2 Vibrace | 24 |
| | 6.3 Kmitočet | 25 |
| | 6.4 Typy měření | 25 |
| | 6.5 Snímače (senzory) vibrací | 26 |
| | 6.5.1 Snímače výchylky | 28 |
| | 6.5.2 Snímače rychlosti | 28 |
| | 6.5.3 Snímače zrychlení – akcelerometry | 29 |
| | 6.6 Nejpoužívanější konstrukce těchto snímačů | 29 |
| | 6.7 Uchycení snímačů (akcelerometrů) | 31 |
| | 6.8 Vyhodnocovací metody vibrací (analýzy signálů) | 32 |
| | 6.8.1 Obálková metoda (Envelope spektrum) | 32 |
| | 6.8.2 Metoda SEE (Spectral Emitted Energy) | 33 |
| | 6.8.3 Metoda rázových pulzů (Shock Pulse Metod) | 33 |
| | 6.8.4 Metoda SE (Spike Energy) – metoda špičkové energie | 34 |
| | 6.9 Analýza signálu | 34 |
| | 6.9.1 Časová oblast | 34 |
| | 6.9.2 Frekvenční oblast | 35 |
| | 6.10 Trendování vibrací | 36 |
| 7 | Valivá ložiska | 39 |
| | 7.1 Poškození valivých ložisek | 40 |
| | 7.2 Jednotlivé fáze poškození ložiska | 40 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 8 | On-line diagnostické systémy | 42 |
| 8.1 | <i>SKF on-line</i> | <i>43</i> |
| 8.2 | <i>XM modul</i> | <i>43</i> |
| 8.3 | <i>imf electronic</i> | <i>44</i> |
| 8.3.1 | efector octavis – inteligentní hlídání vibrací | 45 |
| 8.3.2 | Software | 46 |
| 8.3.3 | Hardware | 48 |
| 9 | Aplikace on-line systému na mlecí linku BIVIS | 49 |
| 9.1 | <i>OP papírna, s.r.o.</i> | <i>49</i> |
| 9.2 | <i>Důvod pro aplikování on-line systému</i> | <i>50</i> |
| 9.3 | <i>Aplikace on-line diagnostického systému efector octavis</i> | <i>52</i> |
| 9.3.1 | Instalace hardware | 52 |
| 9.3.2 | Nastavení software | 53 |
| 9.3.3 | Naměřená spektra | 54 |
| 9.3.4 | Vyhodnocení a trend | 55 |
| 9.4 | <i>Aplikace on-line diagnostického systému XM</i> | <i>56</i> |
| 9.4.1 | Instalace software | 56 |
| 9.4.2 | Trend hodnot vibrací | 57 |
| 9.4.3 | Vyhodnocení | 57 |
| 10 | Závěr | 58 |
| 11 | Použitá literatura | 59 |

Seznam použitých značek a symbolů

| | | |
|-----------------|--|--------------------------------|
| FFT | (Fast Fourier Transformation) | Rychlá Fourierova transformace |
| SEE | (Spectral Emitted Energy) | Spektrální emisní energie |
| SE | (Spike Energy) | Metoda špičkové energie |
| T | perioda | |
| Peak | špička | |
| Peak-Peak | špička-špička (maximální rozkmit vlny) | |
| Average | průměr | |
| RMS | (Root Mean Square) efektivní hodnota | |
| y | výchylka | |
| y' | rychlost | |
| y'' | zrychlení (pohybu seizmické hmoty snímače) | |
| x'' | zrychlení objektu | |
| m | hmotnost seizmické hmoty snímače | |
| M | hmotnost objektu | |
| k | tuhost pružiny | |
| b | součinitel tlumení | |
| F _b | budicí síla | |
| U | elektronická síla | |
| B | je indukce magnetického pole ve vzduchové mezeře snímače | |
| l | délka vodiče cívky | |
| v | rychlost kmitání pouzdra snímače | |
| P _d | střední průměr [mm] | |
| B _d | průměr val. elementu [mm] | |
| RPM | otáčky hřídele [min ⁻¹] | |
| n | počet valivých elementů | |
| ø | konstantní úhel [°] | |
| L ₁₀ | základní trvanlivost ložiska | |
| C ₁₀ | základní dynamická únosnost | |
| F | síla zatížení | |
| α | úhel styku ložiska | |

| | | |
|------|------------------------------------|--------------------------|
| BPFO | (Ball Pass Frequency – Outer Race) | závada vnějšího kroužku |
| BPMI | (Ball Pass Frequency – Inner Race) | závada vnitřního kroužku |
| BSF | (Ball Spin Frequency) | závada valivého elementu |
| FTF | (Fundamental Train Frequency) | závada klece |
| OPC | otevřený datový standard | |

1 Úvod

Údržba strojů hraje v dnešním moderním průmyslovém světě významnou ekonomickou úlohu. Slouží nám k dosažení třech základních cílů:

- *zachování základních prostředků*
- *zabránění nepředvídatelným přerušením provozu a výpadkům výroby* (zachování schopnosti plynulých dodávek)
- *zlepšení bezpečnosti práce, jakosti a ochrany životního prostředí*

Údržba znamená výdaje a tyto výdaje představují pro každý podnik významný nákladový faktor. V procentuálním vyjádření se jedná o 6 až 10% ročního obratu. V případě, že započítáme náklady na udržování skladů náhradních dílů a úroky z kapitálu v nich vázané, pak mohou náklady na údržbu dosahovat až 25% ročního obratu. Tento nepříznivý stav jsme schopni ovlivnit použitím pokrokových strategií, moderní výpočetní a měřicí technikou. Těmito opatřeními neprodlužujeme pouze životnost strojů, ale zvyšujeme i jejich využitelnost a zlepšujeme jakost výsledných produktů.

U rotujících strojů sledujeme v první řadě vibrace. Základním cílem tohoto sledování je poskytnutí informací o provozním a technickém stavu daného stroje. Pokud známe technický stav stroje, můžeme účelně zabezpečit strategické plánování a řízení údržby. Z tohoto důvodu se tak stává hodnocení stavu a průběhu vibrací za dobu dosavadního provozu stroje nedílnou součástí uvedeného procesu.

U rotujících strojů jsou vibrace úzce vázány na dynamické namáhání stroje, což souvisí především se stavem ložisek a převodovek, dále pak s opotřebáváním, nevyvážeností, nesouosostí, tvorbou trhlin v důležitých komponentech atd. Z těchto důvodů patří monitorování a vyhodnocování vibrací k základním metodám technické diagnostiky.

Vibrace vznikají při dynamickém namáhání stroje a jsou brány jako diagnostický parametr, kterým se zabývá samostatné odvětví technické diagnostiky, zvané vibrodiagnostika.

Vibrodiagnostika se postupně vyvíjela dle modernizace metod samotné technické diagnostiky. Na počátku se jednalo pouze o pocitové a vizuální vjemy. Postupem času se objevovaly snahy o zesílení samotného vibračního, resp. akustického signálu, které vedly až k dnešním nejmodernějším měřicím technikám, jež jsou schopny s maximální schopností vypovídat o technickém stavu sledovaného objektu. Právě tento diagnostický parametr, vibrace, nám dává informace k relativně přesnému určení technického stavu rotujících strojů či jejich jednotlivých částí.

Základním předpokladem pro strategické naplánování případných oprav je včasná detekce závady. Mezi nejčastěji detekované závady zvyšující vibrace patří:

- *nevyváženost rotorů*
- *nesouosost spojek, ložisek a převodů*
- *mechanické uvolnění*
- *poškození valivých ložisek*
- *opotřebení převodů*
- *zadírání*
- *hydraulické a aerodynamické problémy*
- *elektrické závady*
- *rezonance*
- *deformace*

2 Údržba a její strategie

„Dle normy DIN 31 051 je nutno pod pojmem „údržba“ rozumět všechna opatření k zachování a opětovného vytvoření požadovaného stavu, jakož i k zjištění a posouzení skutečného stavu technických prostředků daného systému.“(2)

Údržba je realizovatelný proces prováděný za účelem udržování zařízení v provozuschopném stavu, tzn. odstraňování důsledků způsobených opotřebením, působením nepříznivých podmínek prostředí či dalších provozních vlivů. Podniky se v dnešní době snaží o snížení výrobních nákladů. Jedná se o reakci na snížení zisků, což je zapříčiněno neustále sílící konkurencí.

Je logické, že jakákoliv neplánovaná odstávka může mít za následek nejen vyšší cenu opravy stroje, ale i finanční ztrátu způsobenou zastavením výroby. Mnohdy se stává, že přerušení výroby (tzv. „prostoje“) je dražší než celý stroj.

Údržba strojů a strojních zařízení je tedy velmi důležitá. Její snahou je omezit či úplně vymýtit neočekávané výpadky ve výrobě. Na straně druhé musíme počítat s náklady na údržbu. Tyto náklady se z pravidla snaží podniky stlačit na minimum. Nejčastěji bývá řešením problému údržby kompromis mezi rizikem vzniku poruchy a náklady na údržbu.

Opatření v oblasti údržby se dělí do tří částí:

- **údržování** - opatření k zachování požadovaného stavu stroje
 - mazání, konzervování, čištění, doplňování provozních kapalin
- **inspekce (revize)** - opatření k zjištění a posouzení skutečného stavu stroje
 - měření, zkoušení, zjišťování a kontrola
- **opravy** - opatření k opětovnému vytvoření požadovaného stavu stroje
 - opravy, renovace, modernizace a nové nastavení

Historie nám definovala mnoho kritérií, podle nichž můžeme údržbu členit do různých kategorií. Všeobecně platí shoda v členění údržby do tří základních vývojových stupňů označovaných jako údržba:

- *údržba po poruše*
- *údržba podle časového plánu* (preventivní)
- *údržba podle skutečného stavu stroje* (prediktivní a proaktivní)

Dnes se stále častěji využívají moderní zařízení s vysokou úrovní elektronizace a často i s jistým stupněm vlastní inteligence. Z tohoto důvodu se již rozhodně nelze spokojit s intuitivním přístupem k jejich údržbě. Při sledování nejrozličnějších druhů opotřebení, poškození a blížících se závad či poruch je třeba postupovat v těsné součinnosti s dalšími obory. Na poli údržby se tak nejen stále častěji pracuje s teoretickou spolehlivostí, ale systémy péče o provozování zařízení se také stále častěji rozšiřují především o diagnostické metody a postupy.

K nejstarším způsobům údržby strojů patří „čekání“. Jedná se o provozování stroje bez jakéhokoliv sledování až do chvíle, kdy dojde k jeho poruše. Porucha se lokalizuje a odstraní, následně se stroj opět spustí. Tento způsob je velice neefektivní a zastaralý, nicméně se s ním setkáme i dnes.

S rozvojem moderní výpočetní techniky se začal využívat systém preventivních výměn. Ovšem ani tento systém nebyl a není vždy zcela efektivní. Mnohdy se jednalo o výměnu ještě použitelného komponentu či součástky.

Další modernizace spočívala v monitorování jednotlivých strojů pomocí hardwaru se speciálně navrženým softwarem. Touto metodou bylo možné zjistit opravdový stav stroje a následně naplánovat včasnou výměnu vadných komponentů. Základem je měření skutečného stavu stroje pomocí objektivních metod. Díky této metodě je možné provést i odhad času, po který bude možné zařízení stále provozovat.

Následuje zjišťování příčin, jež měly za následek vznik poruchy a pokud to je možné, tak odstranění příčin. Použitím těchto moderních metod nám sníží riziko nečekaných odstávek až o 75%, což má za následek značné snížení nákladů.

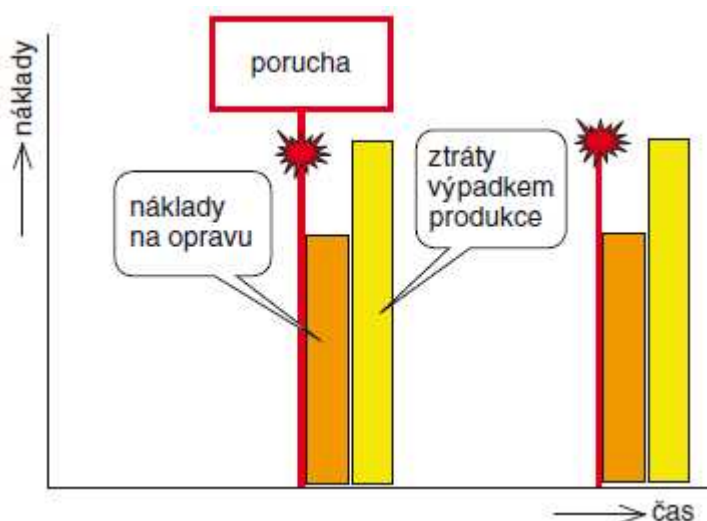
2.1 Údržba po poruše

Jedná se o stroje provozované bez významnějších nákladů na údržbu až do doby, než dojde k jejich poruše. Údržba po poruše se užívá jen ve výjimečných případech, jen u podřadných strojů nevýznamných pro výrobní proces, či u strojů, které jsou k dispozici v nadměrném množství.

Vše je reakcí na skutečnost, že k poruše při daném způsobu provozování stroje zákonitě musí dojít a údržba slouží pouze jako nástroj pro odstranění takto vzniklých poruch. Následky, které souvisí s poruchou, kvůli níž jsme nuceni daný stroj či zařízení odstavit, jsou ovšem velmi často rozsáhlejší, než pouhé náklady na výměnu poškozených nebo zničených komponentů. Do nákladů musíme samozřejmě zařadit i časové ztráty, tzv. odstávky zařízení, jež mají za následek výpadek produkce.

V takovémto případě provozovatel nemůže ovlivňovat výpadky stroje. Vzniklé odstávky jsou zcela neočekávané, tudíž se plánování výroby stává obtížným či dokonce nemožným.

Tento způsob údržby se nejčastěji využívá v domácnostech.

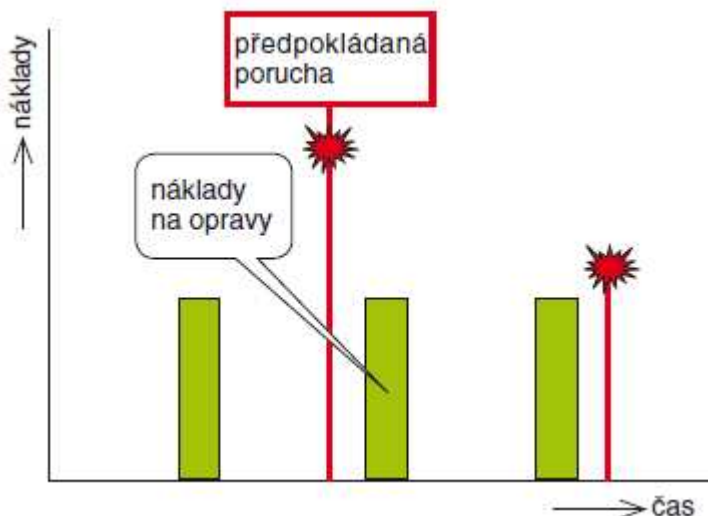


[1] Obr. 1: Schéma systému údržby po poruše

2.2 Údržba podle časového plánu (preventivní)

Jedná se o pravidelně prováděnou údržbu po uplynutí určité doby provozu stanovené na podkladě zkušeností a v souladu s výrobním plánem. Díky teoretické spolehlivosti a předpokládaným časovým průběhům významných parametrů spolehlivosti jednotlivých uzlů systému stanovíme intervaly oprav či výměny těchto uzlů. Stroj se odstaví, prohlédne, rozebere a vymění se potřebné části nebo celé agregáty. Tato metoda je nákladná a není nikterak optimální. Často se nahrazují části, které by mohly být ještě upotřebitelné, či naopak se jiné nahrazují příliš pozdě.

Typickým příkladem je výměna ložisek. V případě, že je vyměněno příliš brzy, vznikají nám zbytečně vysoké náklady. Pokud je ovšem vyměněno příliš pozdě, mohou ve stroji nastat dílčí poškození jiných částí. Deformace hřídelů, havárie spojek či poškození vinutí elektromotorů v důsledku jejich přetížení. Tyto následné škody jsou vždy náklady navíc.



[1] Obr. 2: Schéma systému preventivní údržby

Často tedy hovoříme o „údržbě podle časového plánu“. Její nespornou výhodou je, že se při ní v naprosté většině případů poruše předejde. Náklady na opravu se oproti předcházející variantě sníží na minimum, ovšem nezřídka se stává, že vyměněné komponenty mohly stále ještě plnit svou funkci.

Na jedné straně nám tedy vzniká výhoda možnosti plánovaných odstávek strojů, ovšem na straně druhé máme celou řadu nevýhod nákladového charakteru či různá nebezpečí. Náklady nám v celkovém součtu klesají jen mírně, protože zde zůstávají vysoké náklady na pravidelný cyklus oprav a náhradní díly popř. jejich skladování.

Výše zmíněné nevýhody se dají částečně eliminovat na přijatelnou míru pomocí doplňujících opatření.

- ***provozním sledováním strojů*** - průběžně zjišťuje stav stroje, porovnává nasnímané hodnoty s předem určenými mezními hodnotami a hlásí poruchy na stroji
- ***diagnostikou strojů*** - umožňuje posoudit stav stroje v průběhu jeho činnosti a rozpoznává závady a poškození
 - měření se provádí nepřetržitě (on-line) nebo v pravidelných či nepravidelných intervalech

2.3 *Údržba podle skutečného stavu (prediktivní a proaktivní)*

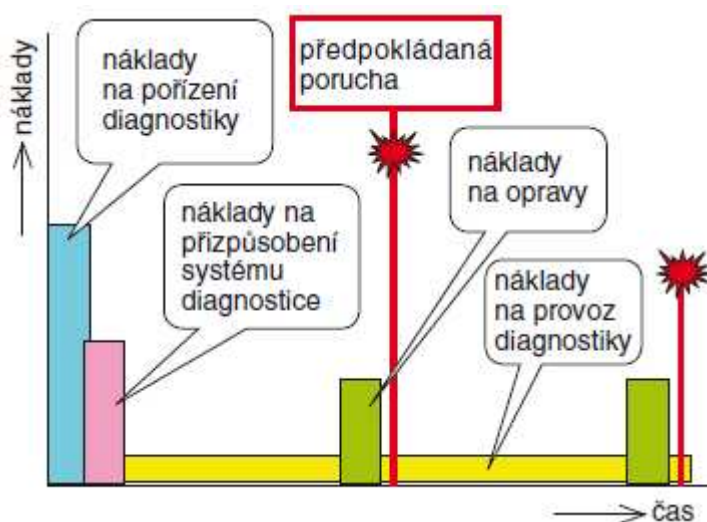
Jedná se o „ideální“ údržbu stroje realizovanou pouze v závislosti na jeho skutečném technickém stavu. Odstávka se koná pouze tehdy, jestliže to technický stav stroje skutečně vyžaduje. Díly se mění ve chvíli, kdy jejich stav dosáhne určitého stupně opotřebení. Nesouososti a nevývahy se opravují pouze v případě, že dosáhnou limitních hodnot.

Tato koncepce vyžaduje neustálou znalost skutečného stavu stroje. Parametry důležité pro chod stroje se vyhodnocují nepřetržitě a ihned se interpretují. Nehodnotí se pouze současný stav stroje, ale pomocí trendů a naměřených hodnot se odvozují i prognózy. Je možné předem vypočítat či odhadnout termíny potřebné údržby, které se dají následně zabudovat do operativního plánu údržby.

Prediktivní údržba se začíná uplatňovat během posledních desetiletí ve spojení s rozmachem technické diagnostiky. Spojuje v sobě poznatky všech předešlých systémů údržby. Díky ní můžeme důsledněji předcházet jednotlivým poruchám. Vzniká nám možnost včasného naplánování nutných oprav jednotlivých součástí či výměn celých uzlů dle jejich skutečného stavu. To znamená, že náš systém údržby dokáže včas informovat

o blížící se poruše, tzv. mezním stavu součásti. Je to stav, kdy je daná součást nebo uzel již „opotrebována“, a je dobré ji nechat vyměnit a předejít tak nečekaným odstávkám zařízení. S využitím tohoto včasného varování, avšak ne zbytečné výměny, nám klesají náklady na údržbu na minimum. Takto můžeme docílit až několikanásobného snížení nákladů spojených s údržbou. Délka odstávky stroje je podstatně kratší oproti první variantě (po poruše). Taktéž nám klesají náklady spojené se skladováním náhradních dílů.

Jedinou nevýhodou je počáteční nárůst nákladů spojený s nákupem poměrně drahých diagnostických systémů. Následné náklady jsou již velmi nízké. Abychom mohli přesně stanovit okamžik, kdy je nutné provést údržbu sledovaného zařízení, je zapotřebí zařízení trvale či alespoň periodicky sledovat a podle naměřených hodnot tento optimální okamžik určit. Přestože se tedy počáteční náklady na údržbu zvýší (cena diagnostických systémů se započítává do samotných nákladů na údržbu), nám dokáže následné užívání prediktivní údržby pořizovací náklady několikanásobně vrátit v podobě úspor nákladů na odstraňování poruch či havárií.

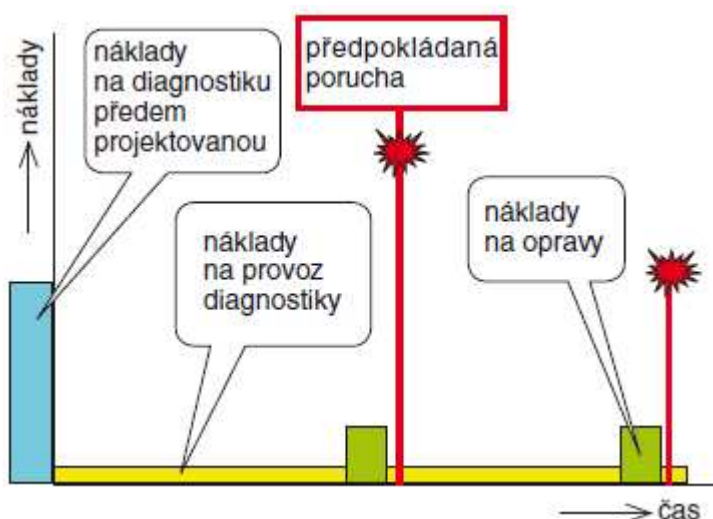


[1] Obr. 3: Schéma systému prediktivní údržby

Proaktivní údržba představuje v daném schématu vývoje metod údržby další vyšší úroveň. Opět vychází z daného technického stavu provozovaného zařízení. Proaktivní varianta údržby znamená důsledné hledání příčiny vzniklé poruchy a zcela vychází z předchozí prediktivní údržby, kterou dále zdokonaluje. Jejím základem je tedy využívání moderních metod technické diagnostiky, zpravidla ovšem mnohem komplexnějším způsobem.

V moderních diagnostických systémech odpovídajících potřebám proaktivní údržby se kombinují mnohé dosud relativně samostatné obory technické diagnostiky tak, aby bylo optimálně pokryto celé sledované zařízení. Nová zařízení se tak často navrhují s ohledem na snadný přístup při zavádění diagnostických systémů v budoucnu, zejména ta zařízení nebo části zařízení, jež jsou tzv. „životně důležitá“. Je důležité počítat do budoucna s možností montáže snímačů na důležitých pozicích zařízení pro snímání vibrací, teploty či odběru maziva ze stroje, tudíž s dostatkem místa pro jejich umístění.

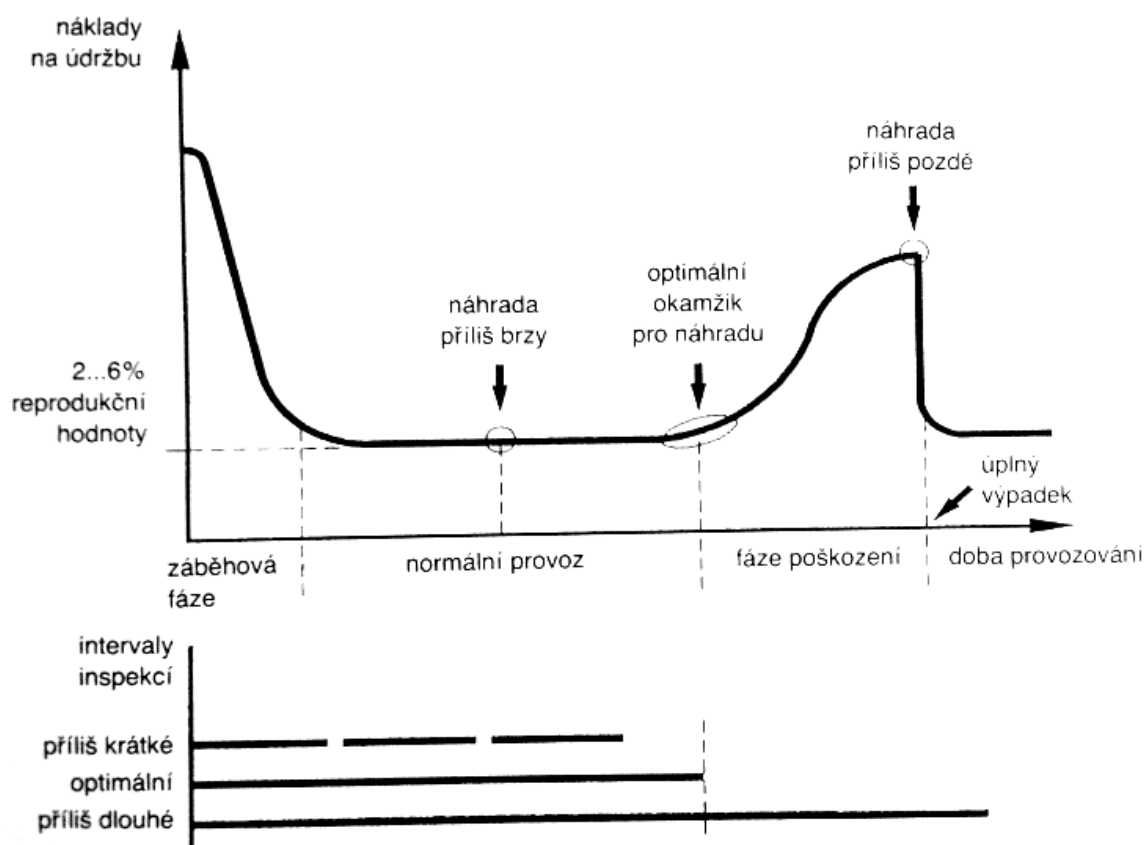
Zavedení dostatečného diagnostického systému na hotovém stroji není vždy jednoduché a neřídka jsou přitom nutné určité úpravy, které se odrazí v celkových nákladech. Nutnost provádění dodatečných úprav může vést i k jiným problémům, těžkostem a ústupkům. Proaktivní přístupy tomuto zabraňují a umožňují použít předem zvolené optimální způsoby diagnostiky při minimálním nárůstu nákladů.



[1] Obr. 4: Schéma systému proaktivní údržby

3 Hospodárnost

Hospodárností rozumíme maximální využití životnosti každé součásti daného zařízení. Při příliš krátkých intervalech výměny se předčasně vyměňují části stroje, které jsou stále schopny plnit svou funkci. Opakem jsou příliš dlouhé intervaly údržby, jež mají často za následek pozdní rozpoznání poškození.



[2] Obr. 5: Vývoj nákladů na údržbu během doby provozu stroje

Obr. 5 ukazuje vývoj nákladů na údržbu v průběhu provozování stroje. Při normálním provozu je neekonomičtější ta strategie údržby, při níž se údržbářské zásahy provádějí v optimálním okamžiku, totiž právě na počátku vznikajícího poškození.

4 Pozice technické diagnostiky v systému údržby

Technická diagnostika je samostatný a velice obsáhlý vědní obor zabývající se poznáním či zkoumáním technického stavu sledovaného objektu. Název je odvozen z řečtiny a často se překládá jako „učení skrze poznání“.

Dnes se bavíme o získávání informací o technickém stavu zařízení pomocí zkoumání objektu prostřednictvím jeho vnějších projevů. Ve většině případů se jedná o objektivní zkoumání využívající nedestruktivních či bezdemontážních metod technické diagnostiky. Aby byl diagnostický systém úspěšný, musí kromě samotné diagnózy umět pracovat i s prognózou a genezí.

- **diagnóza** - vyhodnocení okamžitého stavu zařízení (provozuschopnosti)
 - jejím cílem je řešení dvou zásadních úkolů (detekovat a lokalizovat poruchu na zařízení)
- **prognóza** - jedná se o určení budoucího vývoje technického stavu zařízení vycházejícího ze statických pravděpodobností bezporuchového stavu
- **geneze** - analýza příčin poruch či nečekaného zhoršení technického stavu zařízení
 - k její funkci je důležitá znalost předešlých dat měření („historie“)

Pokud chceme docílit uspokojivých výsledků, tzn. zjištění a odstranění poruch, musíme docílit vzájemné součinnosti všech tří složek. Relativně přesný technický stav zařízení lze zjistit nejen na základě dokonalé znalosti jeho historie, ale také jeho zbytkové životnosti. Při správném užití těchto znalostí jsme schopni přesněji naplánovat nutné opravy a zařadit je do operativního plánu výroby. Dále jsme schopni zvýšit spolehlivost stroje a tím zlepšit bezpečnost provozu.

Je tedy zřejmé, že bez existence technické diagnostiky není vůbec nožná samostatná existence moderních systémů prediktivní a proaktivní údržby, jež vynikají svou účinností a efektivností. Bez diagnostiky lze tedy dosáhnout pouze nižších stupňů údržby. Ty jsou jednak mnohem nákladnější, a také nemohou poskytnout důvěryhodnou informaci o skutečném stavu stroje, tedy jeho provozuschopnosti.

5 Používané metody technické diagnostiky

Technická diagnostika se dnes stává neodmyslitelnou součástí moderních systémů údržby. Ve své podstatě má právě technická diagnostika rozhodující úlohu při rozpoznávání správného okamžiku, ve kterém je nutné provedení odstávky zařízení a jeho oprava. Technická diagnostika je celek skládající se z několika samostatných oborů. Mezi hlavní obory patří:

- *vibrační diagnostika* (vibrodiagnostika)
- *akustická diagnostika* (akustika)
- *tepelná diagnostika* (termodiagnostika)
- *diagnostika olejů* (tribodiagnostika)
- *diagnostika elektrických zařízení* (elektrodiagnostika)
- *polarografie a defektoskopie*

Výše uvedené obory technické diagnostiky existují samostatně a mohou i samostatně posoudit technický stav zkoumaného zařízení. Ovšem chceme-li podat objektivní svědectví o skutečném stavu stroje, je dobré tyto metody kombinovat či je užít současně nebo alespoň vybrat tu nejvhodnější z nich pro dané sledování. Při samostatném užití je každá z těchto metod schopna postihnout jinou ze skutečností důležitou pro provoz zařízení. Proaktivnost moderní údržby spočívá mimo jiné také v tom, že se celý systém opírá o co nejobjektivnější posouzení stavu sledovaného zařízení. Jednotlivé uzly jsou sledovány odpovídajícími diagnostickými systémy. Jedná se právě o takové systémy, které mohou co nejlépe zachytit nebezpečnou změnu sledovaného parametru. Důležitým parametrem diagnostických systémů je citlivost. O překročení předem nastavené velikosti parametru, který v sobě nese informaci o zhoršení technického stavu zařízení, nás systém informuje. Umožní tak zcela předejít poruše nebo případné havárii stroje.

6 Vibrodiagnostika

Vibrodiagnostika je jedním ze základních odvětví technické diagnostiky. Nejčastěji se používá u klasických strojních zařízení. Jejím úkolem je měření mechanického chvění či rázů vznikajících při běhu stroje otáčením či vzájemným pohybem jednotlivých částí proti sobě.

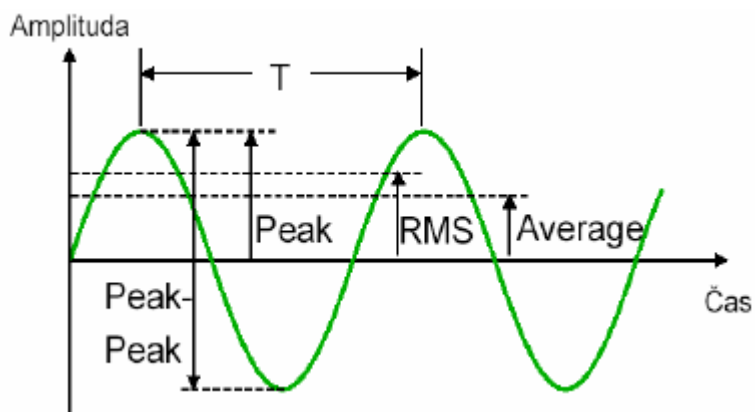
Jedná se o jednu z hlavních metod bezdemontážní nedestruktivní diagnostiky, z principu prováděné za běžného provozu bez omezení výroby, s jejíž pomocí lze identifikovat poškození částí strojů. Využívá vibrace, jako zdroj informací, pro stanovení technického a provozního stavu strojních zařízení.

Jejím hlavním cílem je odhalit skutečný stav zařízení a tím umožnit operativní plánování údržby, minimalizovat zbytečné preventivní opravy a předcházet havarijním odstávkám.

Mechanické kmitání provází chod všech točivých strojů. Na základě analýzy tohoto chvění lze získat informace o provozním stavu daného strojního zařízení. Naměřená data jsou zobrazena v podobě časových záznamů nebo frekvenčních spekter, které jsou pak dále vyhodnocovány. K tomuto účelu, pro převod signálů z časové do frekvenční oblasti, slouží "Rychlá Fourierova transformace" - FFT.

6.1 *Mechanické kmitání*

Je to dynamický jev, během kterého hmotné body nebo tuhá tělesa vykonávají vratný pohyb kolem klidové rovnovážné polohy. Kmitání je způsobeno budící silou (interní či externí), jež vyvede tuhé těleso z rovnovážné polohy, která je podmíněna nulovou hodnotou působících sil. Pod pojmem tuhé těleso rozumíme v technické diagnostice celek, který lze nahradit jediným hmotným bodem. Pohyb všech částí tuhého tělesa je v daném okamžiku totožný.



[3] Obr. 6: Znázornění kmitání a důležitých veličin

| | |
|------------------|--|
| T | je perioda kmitání |
| Peak-Peak | (špička, špička) je maximální rozkmit vlny. Užívá se tam, kde je důležitá výchylka chvění |
| Peak | (špička) je vrcholová hodnota popisující amplitudu krátkodobých jevů |
| Average | (průměr) je střední hodnota odrážející časový průběh sledovaného chvění |
| RMS | (Root Mean Square) je efektivní hodnota. Jedná se o nejdůležitější hodnotu odrážející časový průběh chvění |

$$Average = \frac{1}{T} \int_0^T |x| dt$$

Vztahy pro výpočet:

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (x^2(t)) dt}$$

6.2 Vibrace

Vibrace je ekvivalentní pojem pojmu kmitání. Velikost mechanických vibrací je dána budící silou, směrem a jejím kmitočtem. Vibrace lze jednoznačně určit v daném časovém okamžiku amplitudou (maximální výchylkou) a fází. Jsou dány kombinací šesti pohybů neboli stupni volnosti mechanické soustavy.

Vibrace stroje jsou často velice úzce vázány s dynamickým namáháním stroje a s technickým stavem jednotlivých komponentů stroje jako jsou např. hřídele, ložiska, vačkové mechanismy, klikové ústrojí, převodovky, nevyváženosti na rotujících dílech, vůle v kluzných ložiscích, opotřebení či únava materiálu strojních součástí.

6.3 Kmitočet

Kmitočet (frekvence) je veličina udávaná v Hz, která nám udává počet celých kmitů hmotného bodu za sekundu. Čas mezi dvěma sousedícími kladnými maximálními výchylkami označujeme jako dobu kmitu (periodu) T [s].

6.4 Typy měření

Jednorázové měření

- Slouží k posouzení současného mechanického stavu zařízení a pro stanovení základních příčin vzniku vibrací.
- Měřením lze získat poznatky, s jejichž pomocí můžeme vibrace, jejich příčinu, odstranit.
- Ovšem prognóza o budoucím vývoji stavu zařízení je velmi obtížná.

Periodické měření

- Pravidelné měření vibrací s cílem získat informace o vývoji detekovaných stavů.
- Velmi účinný nástroj metody prediktivní údržby strojů a strojních zařízení.
- Pomocí porovnávání naměřených hodnot lze vyslovit prognózu.

Stabilní monitorování

- On-line nepřetržité sledování stavu strojního zařízení.
- Okamžité vyhodnocení provozního stavu strojního zařízení, obvykle používané, jako bezpečnostní monitorování strojů s možností odstavení zařízení, při překročení nastavené poplachové úrovně, tzv. „ALARMU“.
- Často využíváme dva typy alarmů:
 - oranžový (výstraha o změně stavu vibrací s upozorněním na blížící se poruchu stroje)

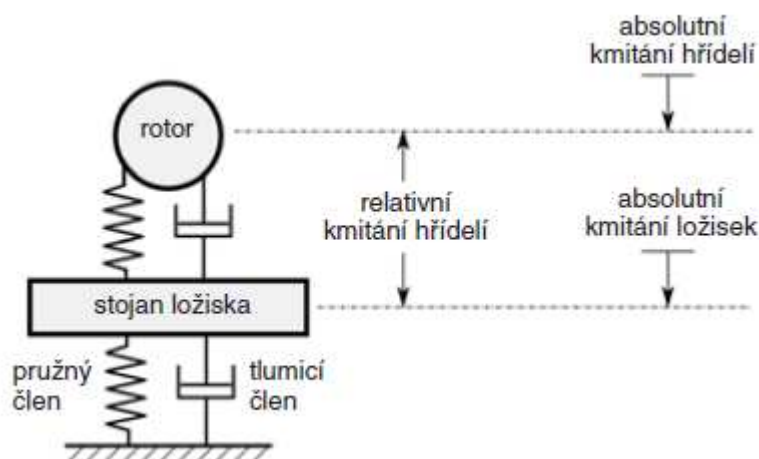
- červený (výstraha pro nutnou odstávku stroje s hrozícím nebezpečím dalšího provozu)

6.5 Snímače (senzory) vibrací

Snímače vibrací využívají známé fyzikální principy převodu malého posuvu hmoty na elektrický signál, který se dále zesiluje a zpracovává. Prvotní, co může následně i zcela znehodnotit naše diagnostikování strojních zařízení, je určení, zda v daném případě jde o vibrace relativní nebo absolutní.

Prvním typem jsou vibrace **absolutní**, u nichž je pohyb tělesa vztahován ke gravitačnímu poli Zeměkoule, neboli k pevnému bodu. Absolutní senzor se používá tam, kde není k dispozici vhodný relativní pevný bod k upevnění vztažného bodu senzoru (ložiskové skříně, letadla, velké motory, jedoucí vozidla apod.).

Druhým typem jsou vibrace **relativní**, jež jsou vyhodnocovány vůči zvolenému reálnému bodu (např. jiné části stroje, základní desce stroje apod.), který ovšem může být také v pohybu. Relativní senzor se používá při vyhodnocování vibračního pohybu jedné části stroje vůči jiné části stroje (víko ložiska vůči hřídeli). Pro toto měření se v dnešní době používají bezdotykové senzory.



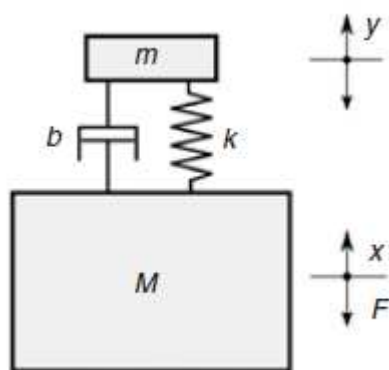
[4] Obr. 7: Relativní a absolutní kmity

Mechanické kmitání je určeno čtyřmi na sobě závislými veličinami. Frekvencí výchylkou, rychlostí a zrychlením. Principiální pro funkci snímače vibrací je pohyb seizmické hmoty s hmotností m vzhledem k objektu o hmotnosti M , jehož vibrace se měří.

Ideálně platí:

| | | |
|-------------------------------|-------|--|
| | y | výchylka, |
| | y' | rychlost, |
| | y'' | zrychlení (pohybu seizmické hmoty snímače vzhledem ke sledovanému objektu), |
| $my'' + by' + ky = Fb = Mx''$ | x'' | zrychlení objektu, |
| | m | hmotnost seizmické hmoty snímače, |
| | M | hmotnost objektu, |
| | k | tuhost pružiny, |
| | b | součinitel tlumení, |
| | Fb | budicí síla |

Při uplatnění znalosti výše uvedeného vzorce lze vhodnou volbou hodnot jeho parametrů (m , b , k) vytvořit snímač kterékoliv z charakteristických veličin kmitavého pohybu, tedy výchylky, rychlosti a zrychlení.



[4] Obr. 8: Obecný snímač vibrací

Rozdělení snímačů:

- *snímače výchylky*
- *snímače rychlosti*
- *snímače zrychlení*

6.5.1 Snímače výchylky

Snímače výchylky mají výrazně velkou hodnotu **m** při zanedbatelném tlumení **b** a tuhosti **k**, čímž se nám základní vztah pro mechanické kmitání změní na

$$my'' = Mx'' \rightarrow y \approx x$$

Takovéto snímače výchylky (posunutí či polohy) lze obecně sestavit na různých principech. Kromě snímačů využívajících optického, magnetického nebo kapacitního principu dnes existují snímače indukčnostní, jež se dnes ve vibrodiagnostice upřednostňují. Jedná se o snímače citlivé na parazitní vlivy (délka kabelu, vnější elektromagnetická pole apod.), což je způsobeno jejich vysokofrekvenčním principem. Z tohoto důvodu se vyrábějí jako integrované. Kovový kryt obsahuje spolu s cívkou i základní část elektroniky. Při měření je důležité zajistit platnost dostatečně malého poměru hmotnosti snímače ku snímanému zařízení (podmínka $m \ll M$).

Dalšími často využívanými snímači v poslední době jsou bezdotykové optické snímače. Jejich výhodou je, že neovlivňují měřený objekt.

6.5.2 Snímače rychlosti

Při dominantním tlumení **b** a zanedbatelně malých hodnotách **m** a **k** můžeme základní vztah pro mechanické kmitání upravit na

$$by' = Mx'' \rightarrow y \approx x'$$

Princip snímače rychlosti byl již v minulosti vcelku snadno realizovatelný, také díky tomu na tento princip přímo dokazuje řada norem hodnotících měření vibrací v časové oblasti.

Tento princip je vcelku jednoduchý. Měřicí cívka se pohybuje v magnetickém poli permanentního magnetu tvořícího seizmickou hmotu snímače. V cívce se při kmitavém pohybu indukuje elektromotorická síla U .

| | | |
|-----------|-----|--|
| | B | je indukce magnetického pole ve vzduchové mezeře snímače |
| $U = Blv$ | l | délka vodiče cívky |
| | v | rychlost kmitání pouzdra snímače |

Při mechanicko-elektrické transformaci signálu je vzhledem k vnitřnímu uspořádání snímače přímo vyhodnocována rychlost kmitání jeho pouzdra. Snímače tohoto typu mají vlastní (tzv. rezonanční) frekvenci mezi 5 až 10Hz. V případě, že vhodně nastavíme tlumení, můžeme s nimi s jistou chybou měřit kmitavý pohyb od těchto frekvencí. Elektrodynamické snímače mají mnoho předností. Nicméně nad těmito přednostmi převažují omezení použití. Mezi nejzávažnější patří horní hranice použitelnosti do frekvence maximálně 3,5kHz spolu s velkou citlivostí na okolní magnetická pole, které představují i velmi výrazné zdroje nejistot.

Dnes se s těmito snímači setkáváme jen zřídka. Rychlost kmitavého pohybu se určuje integrací signálu z akcelerometrů.

6.5.3 Snímače zrychlení – akcelerometry

Při výrazné velké tuhosti k oproti zanedbatelné hmotnosti m a tlumení b lze základní rovnici kmitavého pohybu převést do podoby

$$ky = Mx'' \rightarrow y \approx x''$$

Asi nejčastěji používaný snímač v současné době, piezoelektrický akcelerometr využívající ke snímání pohybu seizmické hmoty piezoelektrický jev, principálně odpovídá tomuto vyjádření. Předpokládáme u něj tuhé připojení ke sledovanému objektu a také splnění základní podmínky, tedy $m \ll M$. Tyto akcelerometry bývají zpravidla konstrukčně řešeny s využitím smykového namáhání piezokrystalu.

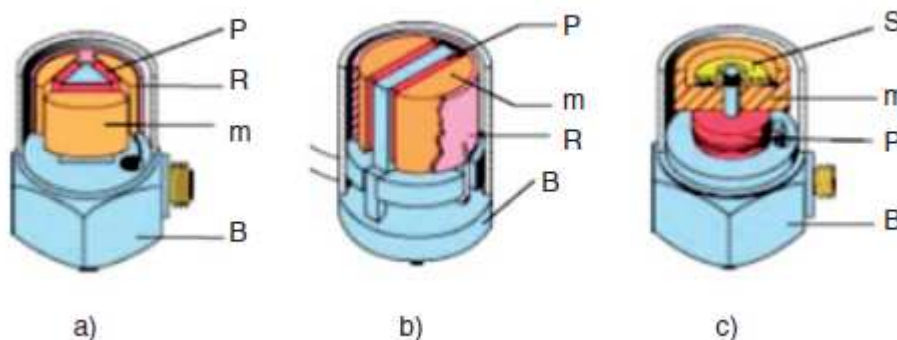
6.6 Nejpoužívanější konstrukce těchto snímačů

- Delta Shear®
- Planar Shear
- Klasická konstrukce

Dnes velmi často používaná konstrukce typu **Delta Shear®**, obsahující tři dvojice piezokrystalů a setrvačných hmot upevněných na trojbokém středovém sloupku s použitím předepnutého prstence (obr. 9a), se vyznačuje velkou citlivostí, malou hmotností a vysokou vlastní frekvencí snímačů. Předností je také oddělení základny snímače od vlastního snímacího mechanismu. Snímače bývají odolnější vůči mechanickému namáhání a vyšším teplotám.

Další typ konstrukce bývá označován jako **Planar Shear**. Svým principem je velmi podobná předchozímu typu, ale jsou zde použity jen dvě dvojice krystalů a setrvačných hmot na plochém středovém sloupku (obr. 9b). Tyto snímače jsou méně citlivé, což se nepříznivě projevuje na přesnosti měření.

Klasickou konstrukci představuje jednoduchý snímač s centrálním tlakovým namáháním (obr. 9c). Vyznačuje se menší citlivostí a větší hmotností setrvačné hmoty snímače. Piezoelektrický krystal a setrvačná hmota jsou namontovány na válcovém středovém nosníku s použitím předepjaté diskové pružiny. Tato konstrukce má zásadní nedostatek, který lze kompenzovat speciálními materiály. Nedostatkem je ovlivnění signálu ze snímače změnami tvaru a namáhání jeho základny. Proto se tyto snímače řadí k typům s většími nejistotami. K měření zpravidla používají větší amplitudy chvění a rázů, kdy výstupní signál má dostatečný odstup od šumu způsobeného vnějšími vlivy. Své uplatnění nacházejí především jako referenční snímače při kalibraci, kde jsou vnější podmínky řízeny a stabilizovány (základna snímače se přitom často zpevňuje vložením beryliové destičky).

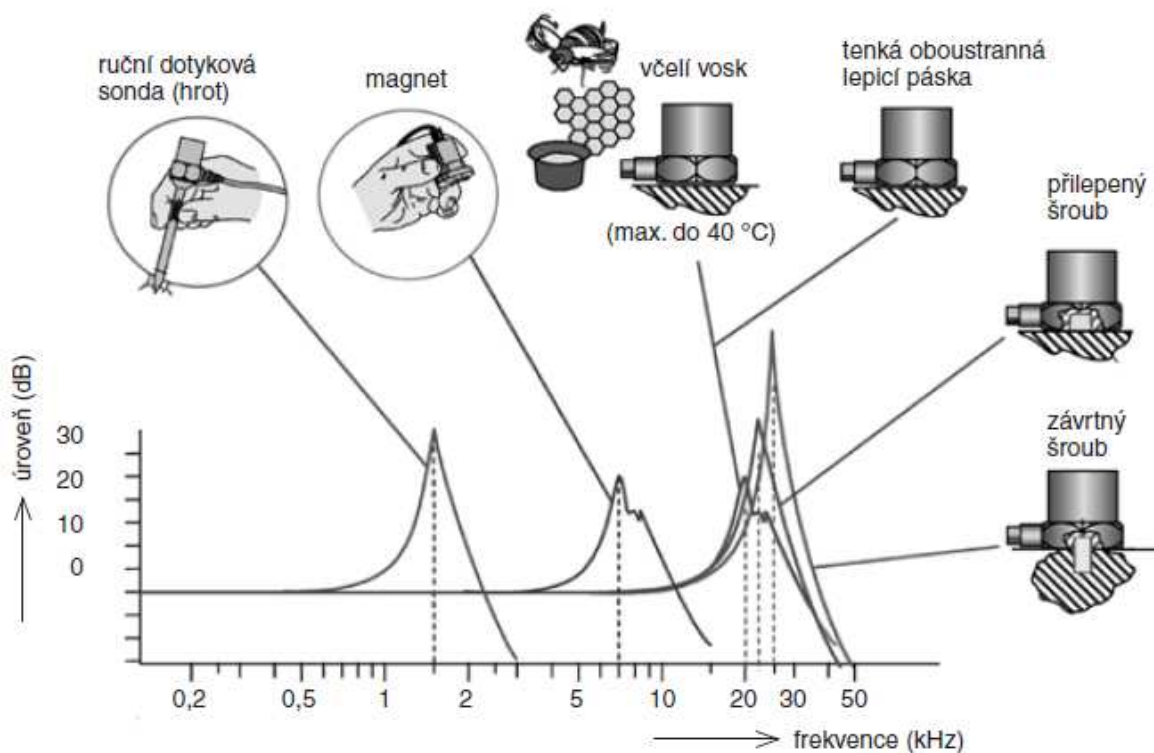


[4] Obr. 9: Základní konstrukční uspořádání piezoelektrických akcelerometrů
(B – těleso snímače, m – seismická hmota, P- piezoelektrický prvek, R – předpínací prstenec, S – předpínací disk)

6.7 Uchycení snímačů (akcelerometrů)

V praxi jsou nejčastěji používané snímače právě akcelerometry. Právě samotné uchycení ke sledovanému objektu může způsobit vážné nepřesnosti při měření vibrací. Z tohoto důvodu je třeba, aby byl snímač jednak správně umístěn, ale i dobře připevněn ke sledovanému objektu. Způsob upevnění snímače má především vliv na frekvenční rozsah, v němž měříme vibrace. V základním provedení jsou piezoelektrické akcelerometry použitelné v pásmu od několika hertzů do 20 až 40 kHz. Nejefektivnějšího upevnění snímačů je použití závrtných šroubů s vrstvou silikonové vazelíny mezi styčnými plochami spoje. Velice efektivní je také použití speciálních lepidel nebo včelích vosků. Často se využívají látky jako kyanoakrylátová lepidla nebo také zubní cement. Mezi nejproblémověji upevnitelné snímače patří snímače s ručním hrotem nebo magnetickou příchytou, které však mají svůj nezastupitelný význam při hledání vhodného měřicího místa.

Takřka stejně významné, jako přichycení, je i umístění snímače na vhodné místo.



[4] Obr. 10: Vliv způsobu uchycení snímače na jeho amplitudovou frekvenční charakteristiku

6.8 Vyhodnocovací metody vibrací (analýzy signálů)

Abychom udrželi stroj v bezporuchovém chodu, je třeba užít různých diagnostických metod, pomocí níž je nejen možné detekovat, ale i lokalizovat velikost a rozsah poškození. Musíme zvolit jak správný typ snímače, tak i správnou metodu měření.

Signál, který detekujeme, je třeba nejprve zpracovat analogicky a poté provést digitalizaci pomocí analogově-číslicových převodníků. Následují analýzy k získání popisu z hlediska časové oblasti a amplitudy signálu. V další fázi se převážně užívá rychlé Fourierovy transformace (FFT) s níž provedeme spektrální analýzu. Pomocí výsledků z takto zpracovaného signálu můžeme určit míru poškození zařízení a následně navrhnout správné opatření a další postup.

6.8.1 Obálková metoda (Envelope spektrum)

Tato metoda slouží pro přesné určení aktuálního stavu ložisek. Její předností je její rychlost s následnou identifikací poruchy. Při následném spojení s FFT analýzou nám tato metoda pomáhá lokalizovat přesnou část ložiska, která je poškozena (vnitřní kroužek, valivý element, klec nebo vnější kroužek ložiska).

Obálková metoda se vyhodnocuje v rezonanční oblasti mezi $5 \div 20\text{kHz}$. Frekvence, na kterých se projevují poruchy, jsou na každé části ložiska jiné vzhledem k jejich relativní rychlosti vůči hřídeli. Tato metoda měří rázové impulsy, jež vznikají při porušení dráhy valivého elementu. Odvalování poškozeného prvku vznikají v ložisku nárazy, ty vyvolávají zvýšené vibrace na frekvenci nárazů. Signál se přefiltruje, odstraní se z něj většina šumu. Po usměrnění se signál mění na tzv. obálku (obalené pulsy). Energie signálu se sice sníží, ale impulsy se opakují ve stále stejných intervalech. Spektrum obálky získáme použitím FFT analyzátoru.

Vztahy používané pro výpočet kinematické (opakovací) frekvence impulzů za předpokladu čistě valivého pohybu pro jednotlivé části ložiska:

$$f = \frac{n}{2} \cdot \frac{RPM}{60} \cdot \left(1 + \frac{B_d}{P_d} \cdot \cos \phi\right) \quad \begin{array}{l} \text{odpovídá závadě vnějšího kroužku} \\ \text{(BPFO – Ball Pass Frequency – Outer Race)} \end{array}$$

$$f = \frac{n}{2} \cdot \frac{RPM}{60} \cdot \left(1 - \frac{B_d}{P_d} \cdot \cos \phi\right) \quad \begin{array}{l} \text{odpovídá závadě vnitřního kroužku} \\ \text{(BPFI – Ball Pass Frequency – Inter Race)} \end{array}$$

$$f = \frac{P_d}{2 B_d} \cdot \frac{RPM}{60} \cdot \left[1 - \left(\frac{B_d}{P_d}\right)^2 \cdot \cos^2 \phi\right] \quad \begin{array}{l} \text{odpovídá závadě valivého elementu} \\ \text{(BSF – Ball Spin Frequency)} \end{array}$$

$$f = \frac{1}{2} \cdot \frac{RPM}{60} \cdot \left(1 - \frac{B_d}{P_d} \cdot \cos \phi\right) \quad \begin{array}{l} \text{odpovídá závadě klece} \\ \text{(FTF – Fundamental Train Frequency)} \end{array}$$

P_d střední průměr [mm]

B_d průměr val. Elementu [mm]

RPM otáčky hřídele [min^{-1}]

n počet valivých elementů

ϕ konstantní úhel [°]

6.8.2 Metoda SEE (Spectral Emitted Energy)

Tato metoda je založena na principu snímání vysokofrekvenčního signálu speciálním senzorem od firmy SKF. Zpracování signálu zajišťuje včasnou detekci kovového styku, který vzniká při porušení mazací vrstvy. Liší se od ostatních metod především tím, že kombinuje vysokofrekvenční akustiku s obálkovou analýzou v pásmu 250 ÷ 350kHz.

6.8.3 Metoda rázových pulzů (Shock Pulse Method)

Metoda je patentována firmou SPM a slouží k měření a posuzování rázových pulzů z rotačních valivých ložisek. Metoda je schopna přinášet informace nejen o stavu ložiska, ale i o stavu mazání a kvalitě maziva. Přístroj měří maximální hodnotu pulsů, jejichž hodnota je větší než referenční hladina.

6.8.4 Metoda SE (Spike Energy) – metoda špičkové energie

Metoda Spike Energy (SE) byla vyvinuta v roce 1970 s cílem odhalit signály vysílané z vadného valivého elementu ložiskem. Metoda popisuje velmi krátké impulsy vibrační energie generované dopadem valivých prvků do mikroskopických trhlin během počáteční fáze poškození ložiska. Výsledný signál je vyjádřen v jednotkách GSE (zrychlení Spike Energy). Spike měření energie může poskytnout včasnou indikaci poruch strojů a je velmi užitečným nástrojem ve vibrační analýze.

6.9 Analýza signálu

Analýza je založena na vyhodnocování časových signálů určujících veličin (rychlost, zrychlení, výchylka). Metody obvykle pracují s časovými průběhy signálů nebo jejich obálkou a snaží se popsat vlastnosti signálů pomocí jejich střední nebo efektivní hodnoty.

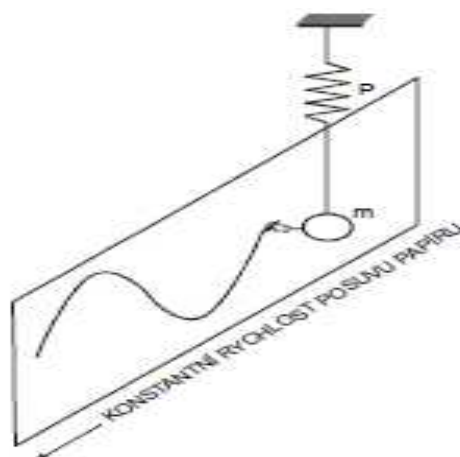
Analýza vibrodiagnostického signálu v časové oblasti je vhodná pro přechodové jevy (rozběhy a doběhy motorů, rázové odezvy). Pro analýzu časových signálů se využívá frekvenční analýza, díky které můžeme získat spoustu informací o stavu rotačního stroje. Časové signály zpracováváme pomocí rychlé Fourierovy Transformace (FFT).

Analýzu signálů provádíme ve třech oblastech:

- *modální*
- *časové*
- *frekvenční*

6.9.1 Časová oblast

V časové oblasti probíhají změny stavu v objektu, které je možno popsat na základě pozorování nebo měření. Nejjednodušeji si tento jev můžeme představit pomocí mechanické soustavy s jedním stupněm volnosti (Obr. 11). Těleso o hmotnosti m je zavěšeno na pružině a je vybaveno zapisovačem, který zaznamenává jeho okamžitou polohu na papírový pásek, který se neustále odvíjí konstantní rychlostí.

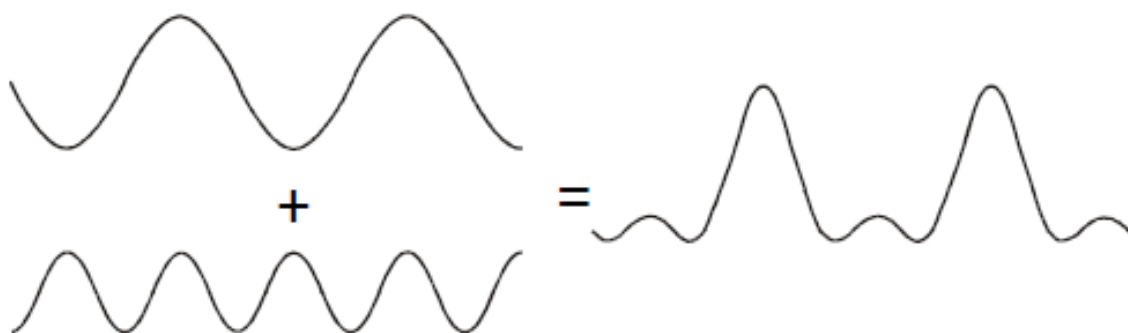


[3] Obr. 11: Přímý zápis výchylky v časové oblasti

6.9.2 Frekvenční oblast

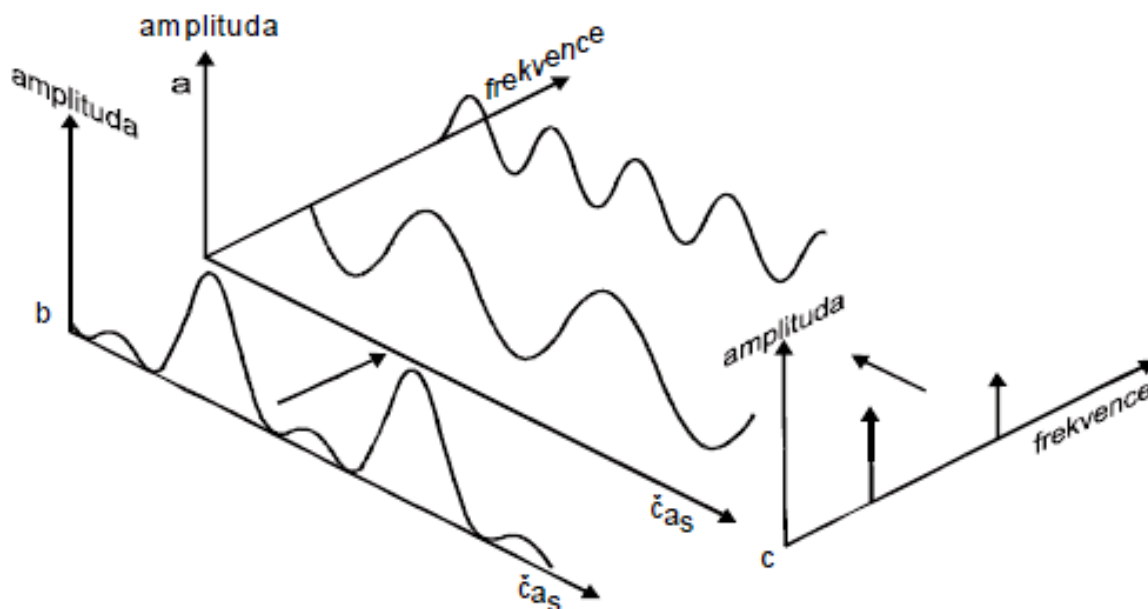
Frekvenční analýza patří mezi nejdůležitější nástroje pro nalezení periodických jevů ve vibračním signále. Díky Fourierovi je známo, že se každý signál skládá z několika harmonických složek. V principu analýza provádí rozklad původního časového průběhu (časového záznamu) na jednotlivé harmonické (sinusové nebo kosinusové) složky. Původní časový průběh pak vzniká součtem všech analyzovaných harmonických složek. Ze spektra signálu jsou obvykle vybrány jen určité frekvenční složky, které nesou požadovanou informaci. Výhoda vyhodnocování signálu ve frekvenční oblasti, oproti časové oblasti, spočívá v tom, že jsou od sebe jednotlivé jevy odděleny.

Tato analýza je založena na matematické teorii, jež spočívá v tom, že každá periodická křivka může být určena jako součet sinusových křivek, které jsou harmonickými složkami daného průběhu signálu (Obr. 12).



[3] Obr. 12: Signál vznikající součtem dvou harmonických signálů

Kompletní frekvenční analýza se skládá z amplitudového a fázového spektra. Díky fázovému spektru můžeme rozlišit závadu na rotujícím stroji.



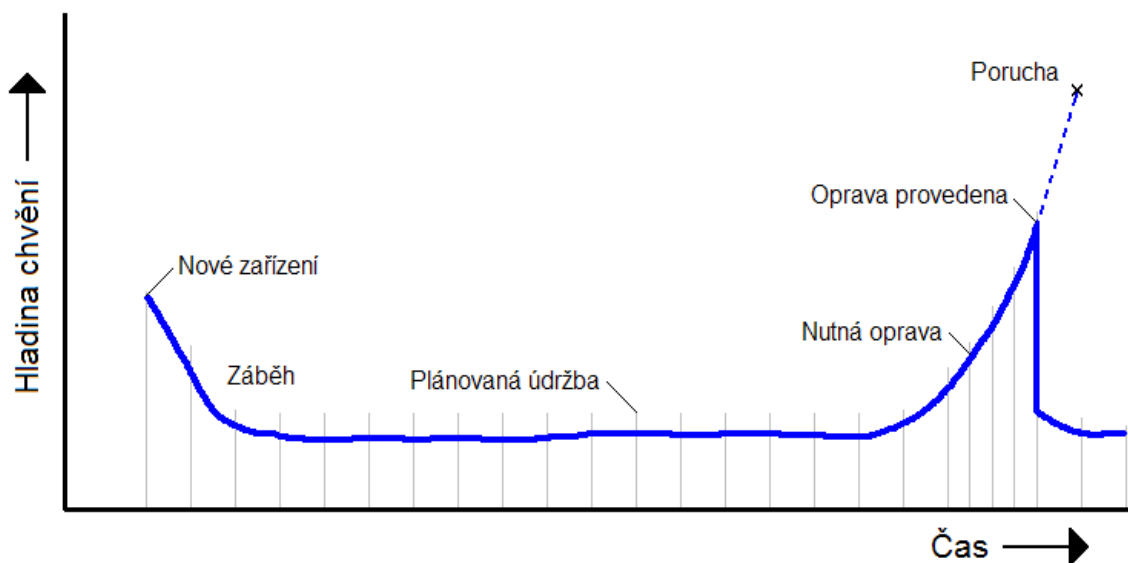
[3] Obr. 13: Závislost mezi časovou a frekvenční oblastí

„Na obrázku a) je zobrazen trojrozměrný souřadnicový systém, který zobrazuje součet harmonických signálů. Dvě souřadnicové osy zobrazují čas a amplitudu signálu, který je znám z předchozího popisu signálu v oblasti času. Třetí souřadnice je frekvence, která umožňuje analýzu harmonických složek. Pokud se na obrázek podíváme ve směru osy frekvence, obdržíme průběh zobrazený na obrázku b) tj. průběh v časové oblasti. Při pohledu na obrázek a) ve směru časové souřadnice obdržíme průběh zobrazen na obrázku c) tj. průběh ve frekvenční oblasti, který se nazývá frekvenční spektrum. (Gabrhelová, Hudeczek, 2009, s. 26)

6.10 Trendování vibrací

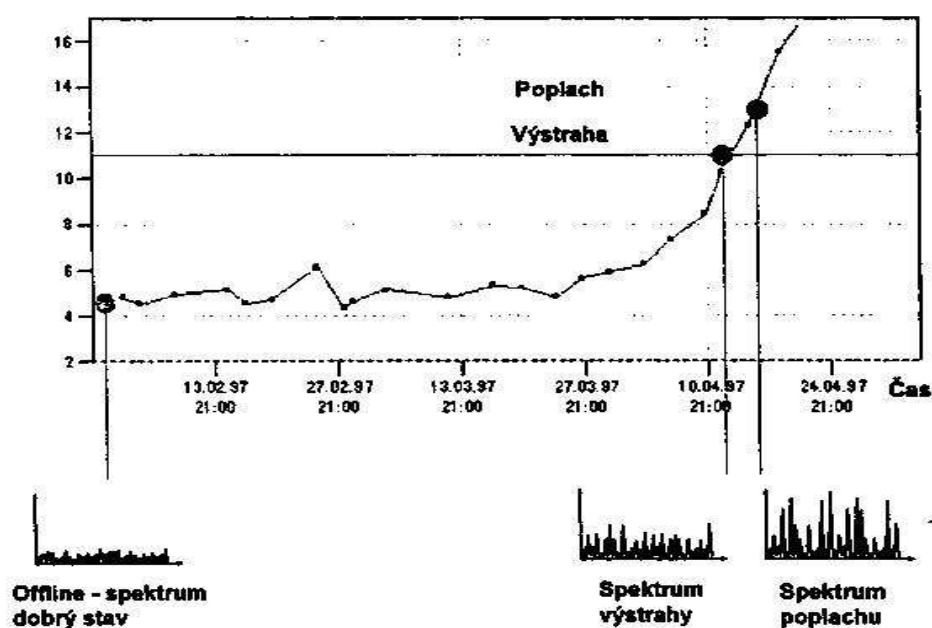
Pomocí pravidelného měření a časového sledování průběhu vibrací můžeme sestavit tzv. „**Vanovou křivku**“ (Obr. 14). Tato křivka představuje časový průběh hladiny vibrací, s jejíž pomocí jsme schopni odhadnout zbytkovou životnost (čas do nutné opravy)

dané součásti stroje a další potřebné údaje nutné pro strategické plánování údržby strojního zařízení.



[5] Obr. 14: Vanová křivka

Trendový graf se částečně podobá vanové křivce, sleduje celkové vibrace (celkovou vibrační energii stroje) v závislosti na čase. V grafu jsou vyznačeny úrovně výstrahy a poplachu. Jakmile se vibrace dostanou přes danou hodnotu, spustí se výstraha či následně poplach (často napojený na spouštěcí obvod stroje, stroj vypne). Trendy nám tedy pomáhají při určování zbytkové životnosti (času do nutné opravy), tzn. dopočtení průběhu trendu do dané limitní hodnoty (výstrahy a poplachu).



[5] Obr. 15: Trendování vibrací

Vibrodiagnostika je tedy významným nástrojem moderní metody prediktivní údržby strojů a strojních zařízení. S její pomocí se údržba strojních zařízení plánuje dle skutečného stavu. Tím odpadají preventivní, mnohdy zbytečné, opravy, což vede k nemalým úsporám náhradních dílů a času potřebného na opravy strojních zařízení.

Dále se na pravidelně monitorovaných zařízeních prodlužuje perioda odstávek. Tu je možné naplánovat s dostatečným předstihem, jelikož je z výsledků měření zřejmé, jaký uzel daného strojního zařízení je třeba opravit.

7 Valivá ložiska

Ložiska jsou nedílnou součástí prakticky každého strojního zařízení. Jejich základní funkcí je umožnění přenosu zatížení při vzájemném otáčivém nebo posuvném pohybu jednotlivých částí daného zařízení.

U valivých ložisek je toto zatížené přenášeno pomocí valivých elementů (válečků, soudečků, jehliček nebo kuliček), které se nachází mezi vnitřním a vnějším kroužkem ložiska.

Každé ložisko má jiný charakter, snese jiné zatížení a má jiné rozměry. Všechny tyto uvedené parametry najdeme v katalogu ložisek od jednotlivých výrobců. K nejdůležitějším z těchto parametrů patří bezesporu únosnost. Ta se dělí na statickou a dynamickou. Při statickém zatížení je ložisko buď v klidu nebo ve velmi pomalém pohybu, přičemž nás zajímají trvalé deformace vzniklé na jeho funkčních plochách. Při dynamickém zatížení se ložisko otáčí a my vyhodnocujeme jeho trvanlivost. Pod tímto pojmem rozumíme počet otáček nebo dobu otáčení ložiska, při které vzniknou na jeho funkčních plochách první známky opotřebení. Trvanlivost ložiska je vyjádřena vztahem

$$L = L_{10} \cdot \left(\frac{C_{10}}{F} \right)^{\alpha}$$

| | |
|----------|------------------------------|
| L_{10} | základní trvanlivost ložiska |
| C_{10} | základní dynamická únosnost |
| F | síla zatížení |
| α | úhel styku ložiska |



[16] Obr. 16: Valivá ložiska

7.1 Poškození valivých ložisek

Ložisko, jako každá strojní součást, má svou životnost. V průběhu této životnosti se ložisko opotřebovává nebo poškozuje vlivem působících sil. Poškození rozlišujeme podle jeho umístění. Může se vyskytovat na valivém elementu, na kleci, na vnitřním nebo vnějším kroužku nebo i v některých případech na těsnění.

Jedním z nejčastějších závad ložiska je tzv. pitting. Jedná se o únavový projev materiálu způsobený opakovaným stykem valivého elementu a kroužku ložiska.

Poškození ložiska bývá způsobeno i nesprávnou montáží (volbou nesprávného nářadí, nesouosostí, nevyvážeností, nešetrným zacházením) nebo špatnou údržbou (nevhodné mazivo, extrémní teploty a vlhkost).

7.2 Jednotlivé fáze poškození ložiska

První fáze poškození ložiska

Vznikají defekty o rozměrech několika mikrometrů. Jejich vlivem se začne šířit tělesem ložiska akustická emise ve frekvencích několika MHz.

Druhá fáze poškození ložiska

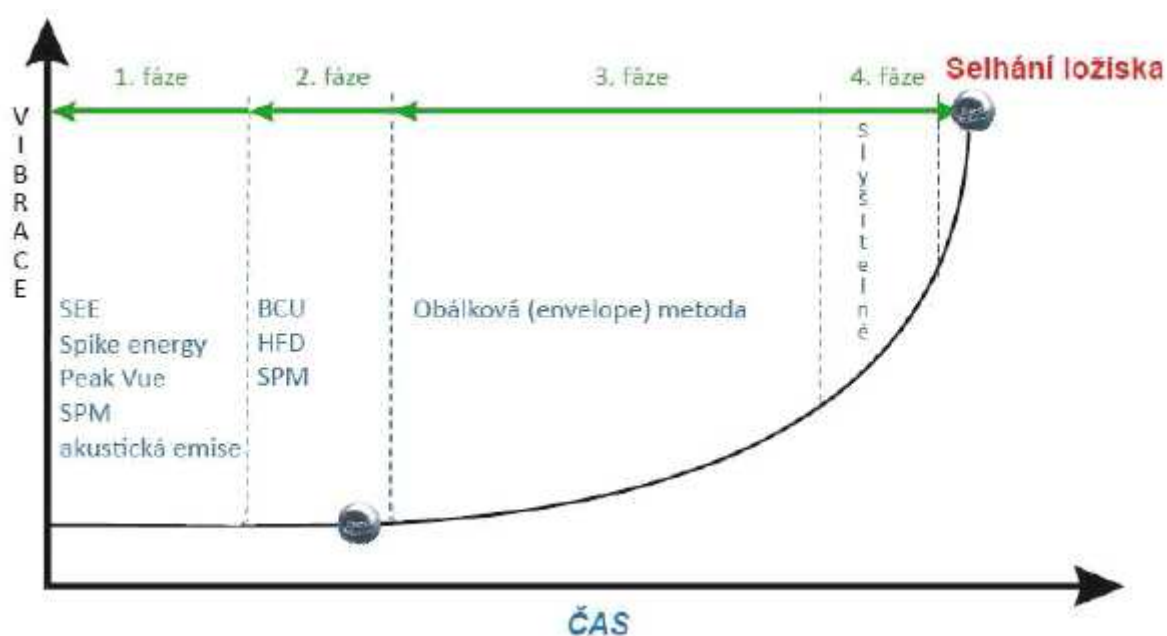
V této fázi dochází k poškození jednotlivých elementů ložiska, avšak spektrální složky odpovídající nízkým frekvencím jsou zcela maskovány nízkofrekvenčními spektrálními složkami středních kmitočtů, které jsou běžně vyvolávány např. záběrem ozubení. Diagnostika ložisek se v této fázi provádí v rozmezí $20 \div 60$ kHz.

Třetí fáze poškození ložiska

V této fázi se malinké trhlinky z předchozích fází začínají zvětšovat a rozšiřovat až po hrany oběžných drah. Těleso ložiska začíná kmitat na frekvencích v rozmezí $5 \div 20$ kHz. Některé literatury uvádějí, že po průchodu třetí fází poškození zbývá ložisku cca 1% jeho průměrné životnosti.

Čtvrtá fáze poškození ložiska

V této fázi zpravidla dochází ke kritickému poškození ložiska nebo přímo k jeho havárii. Vibrační spektrální složky lze zachytit přímo v oblasti nízkých frekvencí.

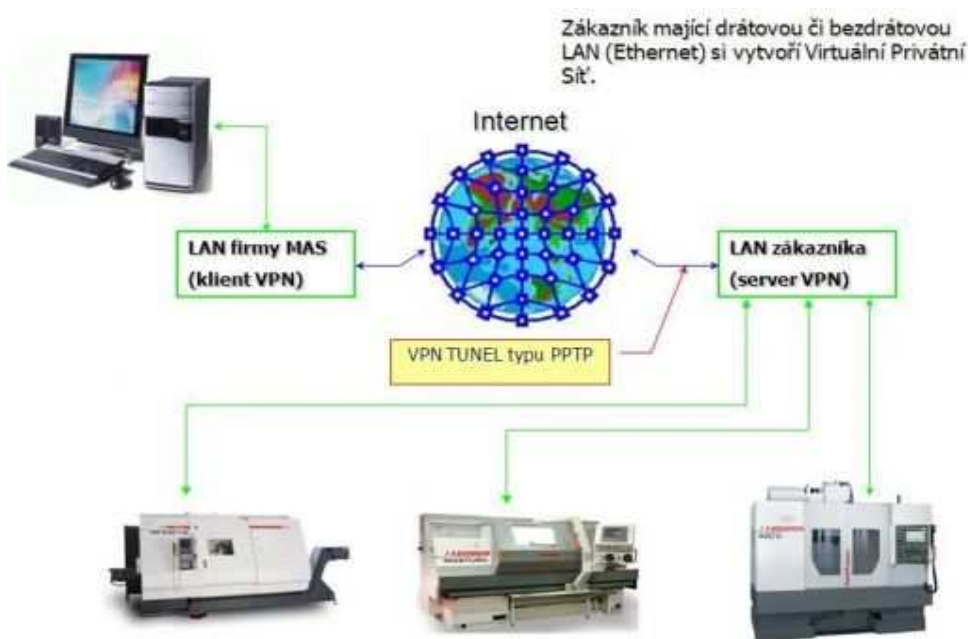


[16] Obr. 17: Jednotlivé fáze poškození ložiska se znázorněním použitelnosti diagnostických metod

8 On-line diagnostické systémy

On-line diagnostické systémy představují trvale probíhající sledování stavu strojních zařízení. Umožňují nám téměř odkudkoliv dohlížet na vzdálené nebo těžko dostupné stroje, a to 24 hodin denně. S využitím předem pevně nastavených kritických hodnot sledovaných veličin, tzv. alarmů, jsou tyto systémy schopny samy hlídat provoz celého zařízení. To znamená, že pokud některá ze sledovaných veličin dosáhne kritické hodnoty, systém vyhodnotí alarm, na který buďto upozorní v podobě varovného signálu obsluhu stroje nebo stroj sám odstaví.

Dálková diagnostika je analýza stroje prováděná diagnostikem prostřednictvím komunikačního software, dodávaného výrobcem daného řídicího systému. Pomocí tohoto software se na dálku (zpravidla prostřednictvím internetu) zpřístupňuje obrazovka a dialogové menu řídicího systému. Samotný komunikační software v sobě nezahrnuje žádné nástroje technické diagnostiky. Diagnostik pouze na dálku využívá interních diagnostických možností řídicího systému. Diagnostik je tedy i na dálku schopen provést lokalizaci závady a dopředu se tak může připravit na její odstranění (objednat náhradní díly a naplánovat odstávku stroje). Jindy může jen přesně informovat obsluhu stroje o vznikající závadě.



[6] Obr. 18: Schéma on-line diagnostického systému

K samotnému provozování on-line diagnostiky strojů je zapotřebí hardwarové a softwarové vybavení. Software má zpravidla značné možnosti v oblasti nastavení, což přispívá k jeho flexibilitě a možnosti využití téměř na každém zařízení. Oproti tomu hardware je třeba volit s ohledem na sledované zařízení.

Finanční náklady na on-line diagnostiku představují jednorázovou investici, jež v sobě zahrnuje pořizovací náklady na software, hardware a instalaci systému. V některých případech jsou tyto náklady dále rozšířeny o další položku v podobě ročního paušálu za poskytování služeb.

8.1 SKF on-line

Firma SKF nabízí svým zákazníkům on-line diagnostikování jejich strojů za pomoci systému Multilog se softwarem PRISM⁴ for Windows On-Line^{MT}.

„PRISM⁴ for Windows On-Line^{MT} je systém představující výkonnou kombinaci pro kontinuální monitorování strojů spojující výhody zařízení pro sběr dat ze systému Multilog, tj. „lokální monitorovací jednotky“ LMU (Local Monitoring Unit) a analytické výkonnosti programu PRISM⁴ On-Line. Lokální monitorovací jednotka umožňuje rychlý a automatický sběr dat ze vzdálených, nebezpečných nebo těžko přístupných míst a tím eliminuje nutnost ručního sběru dat. Pomocí trvale namontovaných snímačů LMU sbírají naměřené hodnoty kontinuálně a jsou spojeny přímo s hlavním počítačem, na kterém běží program PRISM⁴ On-Line.“ (9)

8.2 XM modul

XM je série modulů od firmy Rockwellautomation, které se používají na důležitých zařízeních, všude tam, kde nečekaná odstávka stojí velké náklady ať už ve formě finančních ztrát způsobených odstávkou stroje nebo druhotným poškozením samotného stroje či jiných strojů na něm závislých. Moduly jsou schopny zpracovávat v reálném čase kritické parametry, které slouží k vyhodnocování technického stavu stroje a následně k odhadnutí tzv. zbytkové životnosti. V systému může být zapojen samostatný řídicí obvod, který umí systém odstavit. K odstávce dochází po vyhodnocení naměřených hodnot, jež jsou předem definovány jako kritické pro daný stroj.

Systém XM může být aplikován samostatně nebo může doplnit již stávající systém. Nejčastější aplikace bývá na ventilátory, turbíny a další vysokorychlostní stroje.

8.3 *imf electronic*

Firma imf electronic nabízí svým klientům širokou paletu nejrůznějších typů senzorů a systémů pro automatizaci. K těm základním patří:

efector pmd

- využívá se k měření vzdáleností za použití laseru s milimetrovou přesností

[8] Obr. 19: efector pmd



efector dualis

- slouží k detekci a vyhodnocení libovolných geometrických tvarů

[8] Obr. 20: efector dualis



efector gwr

- hladinový senzor pracující na bázi vedených mikrovln

[8] Obr. 21: efector gwr



efector octavis

- senzor sloužící k měření vibrací s diagnostickou elektronikou, pomocí níž je možná údržba v reálném čase

[8] Obr. 22: efector octavis

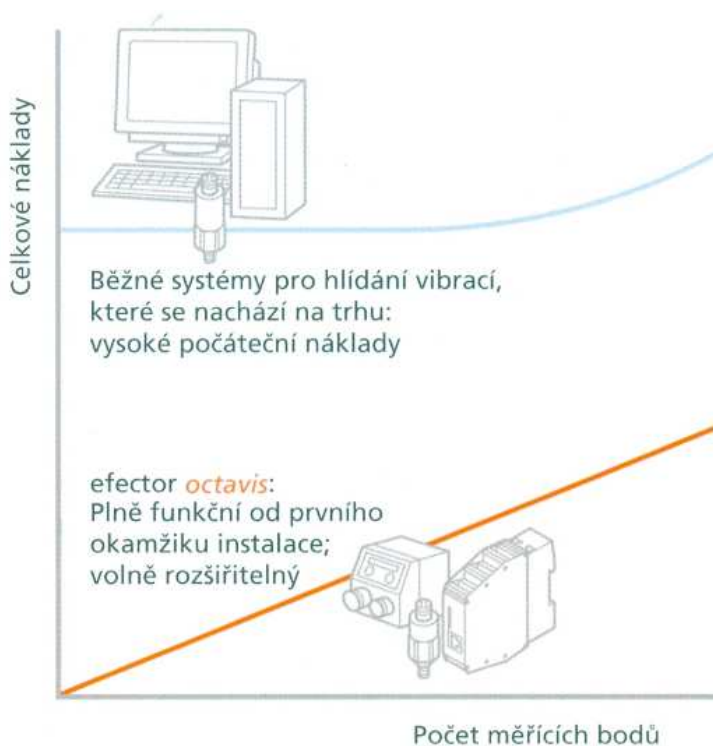


8.3.1 efector octavis – inteligentní hlídání vibrací

Jedná se o on-line diagnostikování technického stavu strojního zařízení, což má za následek zvýšení disponibility, snížení nákladů na opravy a zabezpečení kvality. Všechna data jsou přenášena přes OPC do nadřazeného systému. S využitím tohoto systému můžeme hovořit o trvalé ochraně stroje. Dojde-li k poškození, umožní nám integrovaná paměť trendu přístroje zpětně lokalizovat přesný časový okamžik vzniku poruchy. Určení tohoto přesného časového okamžiku nám napomáhá při následném hledání příčin vzniklé poruchy.

Efector octavis představuje přístroj, jež splňuje všechny nezbytné požadavky na moderní hlídání strojů. S jeho využitím můžeme hlídat vibrace, detekovat je a následně s využitím signálové analýzy diagnostikovat stav stroje.

Tento systém má oproti jiným značně nižší náklady na měřící bod.



[8] Obr. 23: Porovnání nákladů na měřící bod

8.3.2 Software

Dodávaný software verze octavis 2.4 je standardně vybaven několika jazykovými variantami. Mezi ty základní patří samozřejmě angličtina s němčinou. Námi testovaný software obsahoval i slovenštinu, což nám podstatně usnadnilo práci s ním.

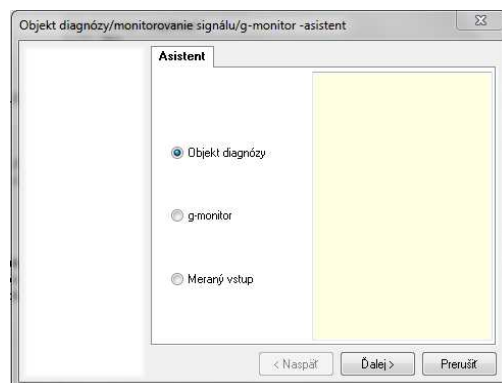


Obr. 24: Software Efactor Octavis 2.4

Tento software disponuje širokou rozmanitostí v oblasti nastavení. Pro nás je nejdůležitější nastavení snímače. V první nabídce máme výběr hned ze tří možností (viz. Obr. 25).

- objekt diagnózy
- g-monitor
- měřený vstup

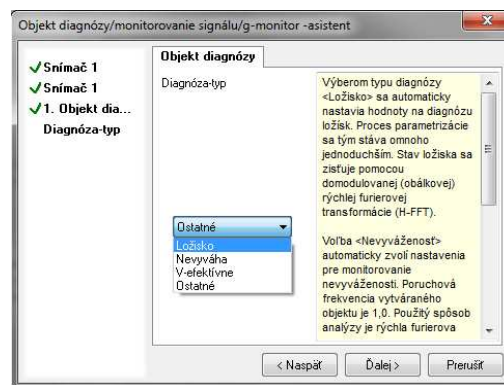
Obr. 25: Nastavení snímače



Volba „**objekt diagnózy**“ nám po stisknutí tlačítka „další“ nabídne výběr snímače a následně nám umožní pojmenovat námi sledovaný objekt diagnózy.

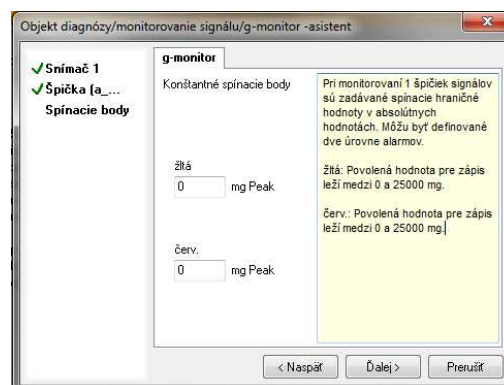
Následně si můžeme vybrat typ diagnózy. Na výběr máme ložisko, nevývahu, efektivní rychlost vibrací a ostatní. U každé volby se nám zobrazí stručný popis námi volené varianty (viz. Obr. 26).

Obr. 26: Nastavení objektu diagnózy



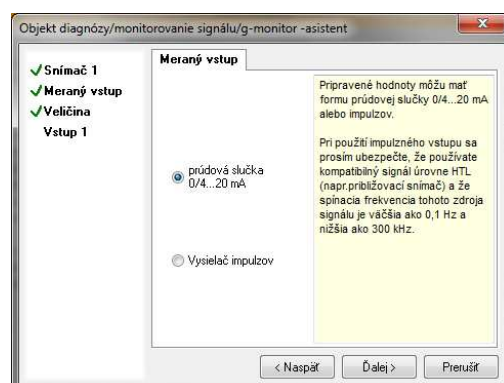
Volba „**g-monitor**“ nám po stisknutí tlačítka „další“ nabídne výběr snímače a následně nám umožní nastavit konstantní spínací body (viz. Obr. 27).

Obr. 27: Nastavení g-monitoru



Volba „**měřený vstup**“ nám po stisknutí tlačítka „další“ nabídne volbu vstupu a následně možnost jeho pojmenování. Povolená hodnota vstupu musí ležet v intervalu 0 až 20mA.

Obr. 28: Nastavení měřeného vstupu



V pravé straně okna se vždy zobrazuje průvodce, který nám rozepisuje jednotlivé možnosti nastavení. Software je vcelku snadno pochopitelný i pro běžného uživatele. V nejbližší době by měl být k dostání i český jazyk pro tento software, který mnohým uživatelům usnadní práci s ním.

8.3.3 Hardware

| Diagnostické jednotky vibrací | |
|---|--|
|  | Typ VE10xx – hlídání vibrací až 5 diagnostických veličin a 2 hodnoty úrovní Integrovaná paměť historie, připojitelný zdroj otáček; integrovaná diagnostika LED; rozhraní RS232; IP67; 2 spínací výstupy; měřicí rozsah +/- 25 g frekvenční rozsah VE1001 3....6000 Hz; VE1002 0,125....500 Hz |
| | Typ VE11xx – hlídání vibrací až 5 diagnostických veličin a 2 hodnoty úrovní Integrovaná paměť historie, připojitelný zdroj otáček; rozhraní RS232; IP69K; 2 spínací výstupy; měřicí rozsah +/- 25 g; frekvenční rozsah VE1101 3....6000 Hz; VE1102 0,125....500 Hz |
| | Typ VE113A – kompaktní přístroj pro použití v prostředí s nebezpečím výbuchu; schválení ATEX skupina II, Kategorie 2D / Kategorie 2G; hlídání vibrací až 5 diagnostických veličin a 2 hodnoty úrovní Integrovaná paměť historie, připojitelný zdroj otáček; rozhraní RS232; IP69K; 1 spínací výstup; měřicí rozsah +/- 25 g; frekvenční rozsah 3....6000 Hz; připojovací kabel 5 m |

[8] Obr. 29: Diagnostické jednotky vibrací

| Diagnostická elektronika | |
|---|---|
|  | Typ VSE002 pro vibrační senzory typu VSA Montáž do rozvodných skříní; frekvenčně selektivní hlídání strojů až 4 měřících míst; rozhraní ethernet TCP/IP; integrovaná paměť historie s údajem reálného času; 2 spínací výstupy nebo 1 spínací výstup a 1 analogový výstup |
| | Typ VSE100 pro vibrační senzory typu VSA Montáž do rozvodných skříní; frekvenčně selektivní hlídání strojů až 4 měřících míst; rozhraní ethernet TCP/IP; integrovaná paměť historie s údajem reálného času; až 8 dalších volně konfigurovatelných I/O |

[8] Obr. 30: Diagnostická elektronika

| Senzory vibrací | |
|---|---|
|  | VSA001 pro připojení na externí diagnostickou elektroniku Měřicí rozsah +/- 25 g; IP69K; frekvenční rozsah 0....6000 Hz konektorové připojení M12 |
| | VSA002 pro připojení na externí diagnostickou elektroniku Měřicí rozsah +/- 25 g; IP69K; frekvenční rozsah 0....10.000 Hz kabelové připojení s konektorem M12 |

[8] Obr. 31: Senzory vibrací

9 Aplikace on-line systému na mlecí linku BIVIS

9.1 OP papírna, s.r.o.

„V roce 1861 byla v údolí řeky Moravy postavena továrna na výrobu psacích papírů. Cestou k další prosperitě bylo zahájení výroby cigaretového papíru v roce 1870. Tento sortiment zůstal zachován po celou dobu existence firmy a přináší jí světový věhlas. Kromě toho zde v roce 1914 byla zahájena výroba cigaretových knížeček a dutinek. Zkušenosti, znalosti a um zaměstnanců papírny jí umožnily rozšíření výrobního sortimentu v roce 1999 o vysoce kvalitní tenké tiskové papíry. Kromě toho se zde vyrábí pololátka, surovina pro výrobu speciálních cigaretových papírů. Papírna je od roku 1997 začleněna do rakouské společnosti Trierenberg Holding. Spojení staleté tradice, lidského potenciálu, investic, inovace, dynamického rozvoje, náležitost ke skupině Trierenberg, maximální zužitkování těchto zdrojů je pro nás výzvou a naší budoucností.“(7)



[7] Obr. 32: OP papírna, s.r.o.

9.2 *Důvod pro aplikování on-line systému*

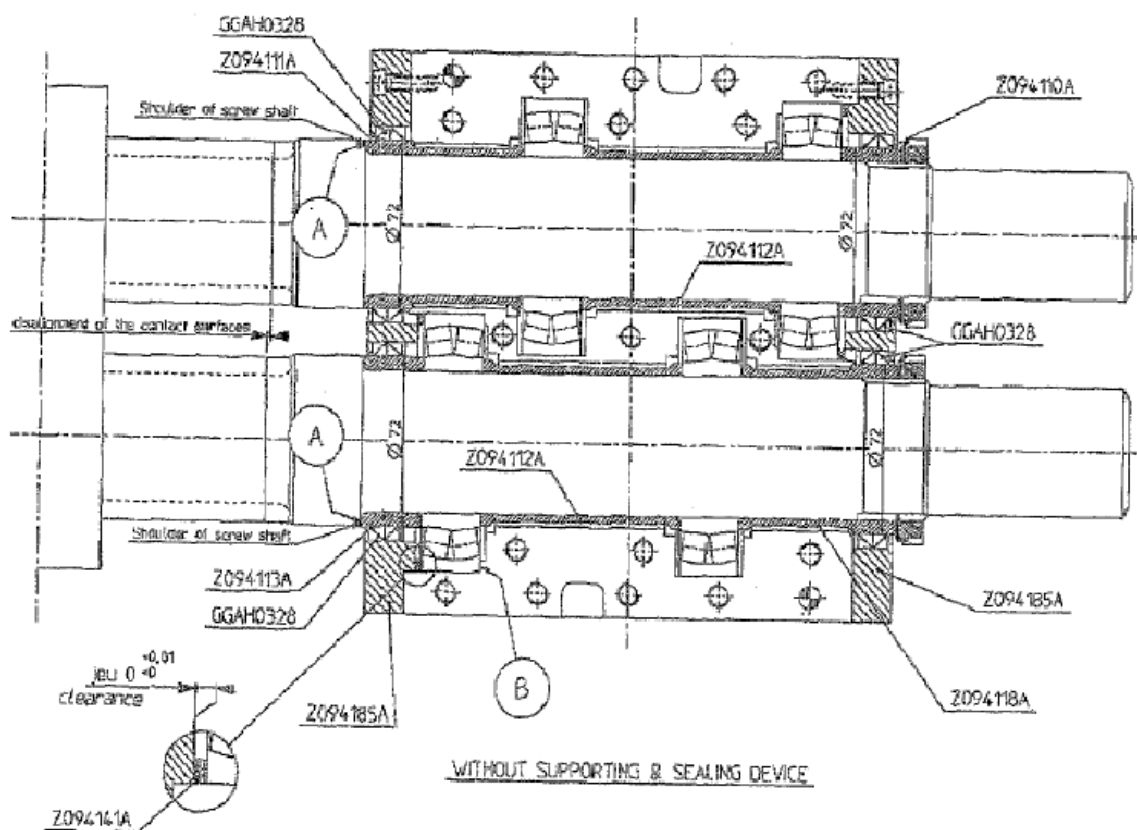
V průmyslovém komplexu OP papíren se nachází mlecí linka BIVIS. Tento stroj hraje důležitou roli při výrobě a jeho neočekávané odstavení by mělo za následek velké finanční ztráty. Při mlecím procesu vzniká na hřídelích tohoto stroje pnutí, jehož následkem je zkrácená doba životnosti jednotlivých ložisek. Až doposud se na tomto stroji používala tzv. preventivní údržba (podrobněji popsána v bodě 2.2), jež měla za následek buďto předčasnou výměnu stále použitelných ložisek, či jejich pozdní výměnu, která mohla zapříčinit poruchu i na jiných částech stroje. Ve snaze předejít těmto druhotným poruchám nebo neúplnému využití životnosti ložisek bylo zapotřebí přejít od systému preventivní údržby k systému prediktivní údržby (podrobněji popsána v bodě 2.3). Tento systém údržby je schopen poskytnout okamžitou informaci o současném stavu stroje. S jeho využitím jsme schopni odhadnout blížící se poruchu a včasné tak naplánovat nutnou údržbu stroje.



Obr. 33: Mlecí linka BIVIS



Obr. 34: Sledovaný domek s ložisky na mlecí lince BIVIS



[15] Obr. 35: Schéma uložení ložisek ve sledovaném úseku BIVISU



Obr. 36: Poškozená ložiska z mlecí linky BIVIS (vnitřní kroužky)

Poškození ložiska je po celé délce vnitřního kroužku, kde je patrný rozsáhlý pitting. Povrch valivé dráhy je vydrolen. V některých případech došlo i k prasknutí samotného vnitřního kroužku. Tento defekt vnitřního kroužku by se měl projevit na vysokých frekvencích jako náhodný vysokofrekvenční šum v oblasti $2\text{kHz} \div 5\text{kHz}$.

9.3 *Aplikace on-line diagnostického systému efector octavis*

9.3.1 Instalace hardware

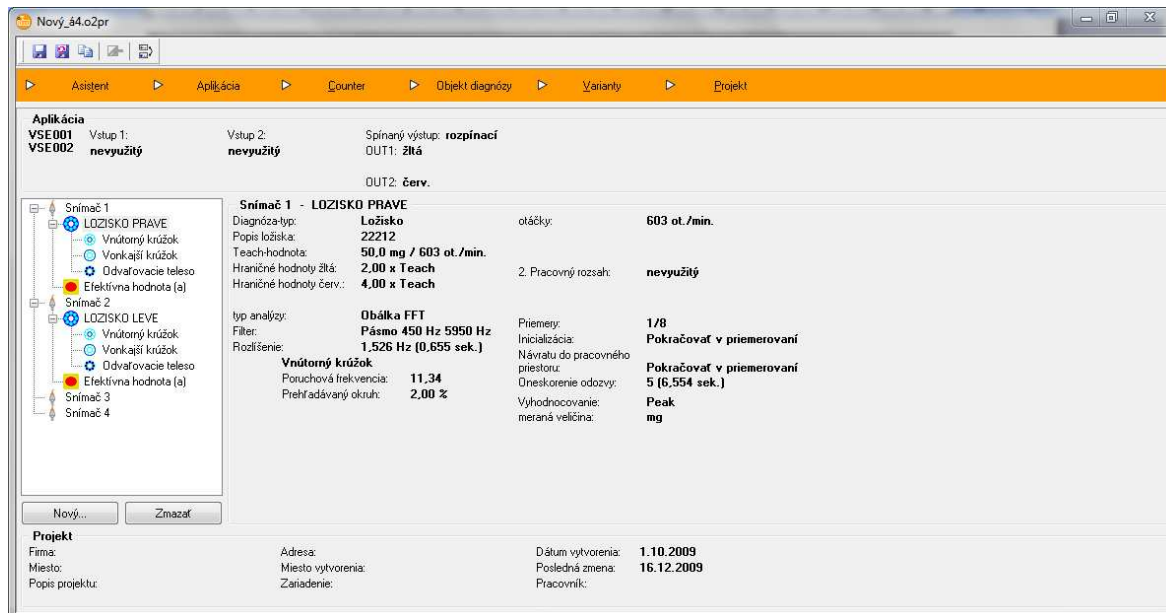
Řídicí jednotka se připojí k PC pomocí ethernetového kabelu, přičemž je zapotřebí nastavit stejné IP adresy obou zařízení. Na místo měření byl nalepen měřicí bod, do kterého byl zašroubován snímač. Po instalaci snímače na měřicí bod se tento snímač připojil pomocí kabelu k řídicí jednotce. Veškerý hardware octavis efector včetně napájecího zdroje (kromě snímače) byl umístěn do plastové krabice z důvodu zamezení vniknutí nečistot.

9.3.2 Nastavení software

Nastavili jsme měření ložiskových defektů na základě měření obálky zrychlení a efektivní hodnotu zrychlení. Efektivní hodnotu zrychlení jsme použili místo špičkové hodnoty zrychlení z důvodu náhlých změn dynamického namáhání stroje způsobeného mlecím procesem a různorodostí mletého materiálu.

Hodnotu „teach“ jsme nastavili dle naměřených hodnot, kdy celková hodnota obálky zrychlení kolísala kolem hodnoty 50 mg při 603 ot. /min..

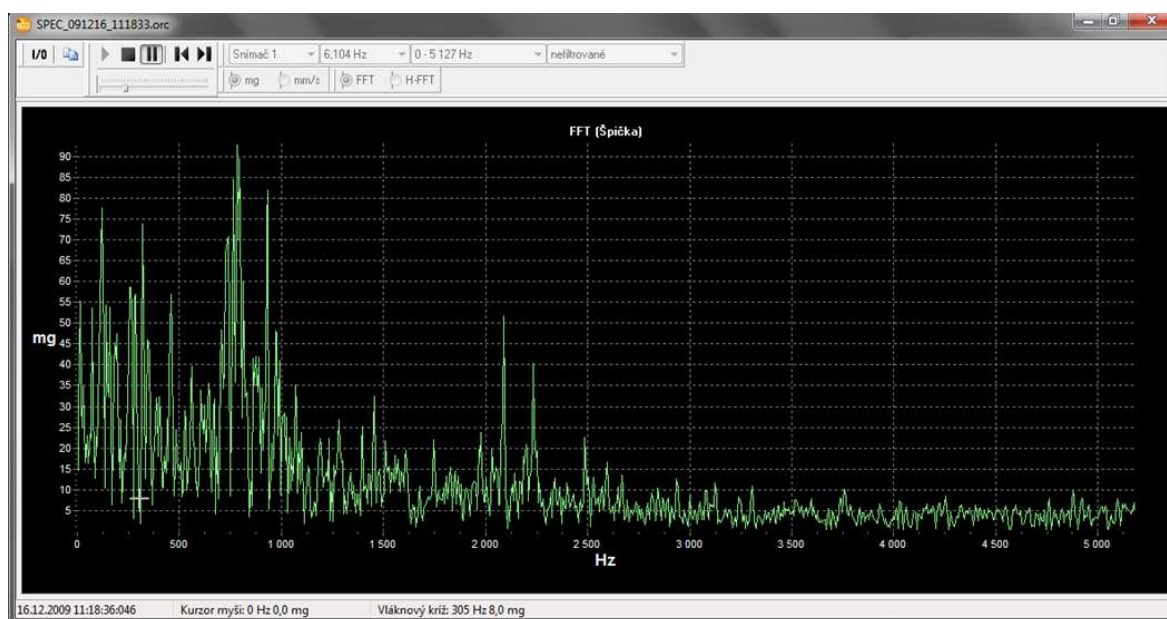
Aktuální průměrná efektivní hodnota zrychlení při měření nových ložisek kolísala kolem 250 mg, z tohoto důvodu byly efektivní hodnoty alarmů nastaveny na 400 mg pro žlutou (varování) a na 600 mg pro červenou (poplach). Před výměnou ložisek, kdy probíhala kontrola měření, kolísala aktuální průměrná efektivní hodnota zrychlení kolem 350 mg. Celková hodnota zrychlení nebyla souvislá, kopírovala mlecí proces v závislosti na tuhosti mletého materiálu s občasnými rázy způsobenými obsluhou stroje (uvolňování nahromaděného materiálu v podavači). Tímto místy celková efektivní hodnota zrychlení překračovala i 5000-12000 mg.



Obr. 37: Nastavené parametry při měření

9.3.3 Naměřená spektra

Spektrum FFT zrychlení vibrací z měřicího bodu po výměně ložisek je zobrazeno na obrázku 38. Byl nastaven frekvenční rozsah 0Hz ÷ 5,127kHz. Ve spektru jsou viditelné špičky na nižších frekvencích, které zobrazují výrobní proces a které nemají vztah k charakteru poškození námi sledovaných ložisek. Hladina vibrací je nízká, bez detekce charakteristického poškození.

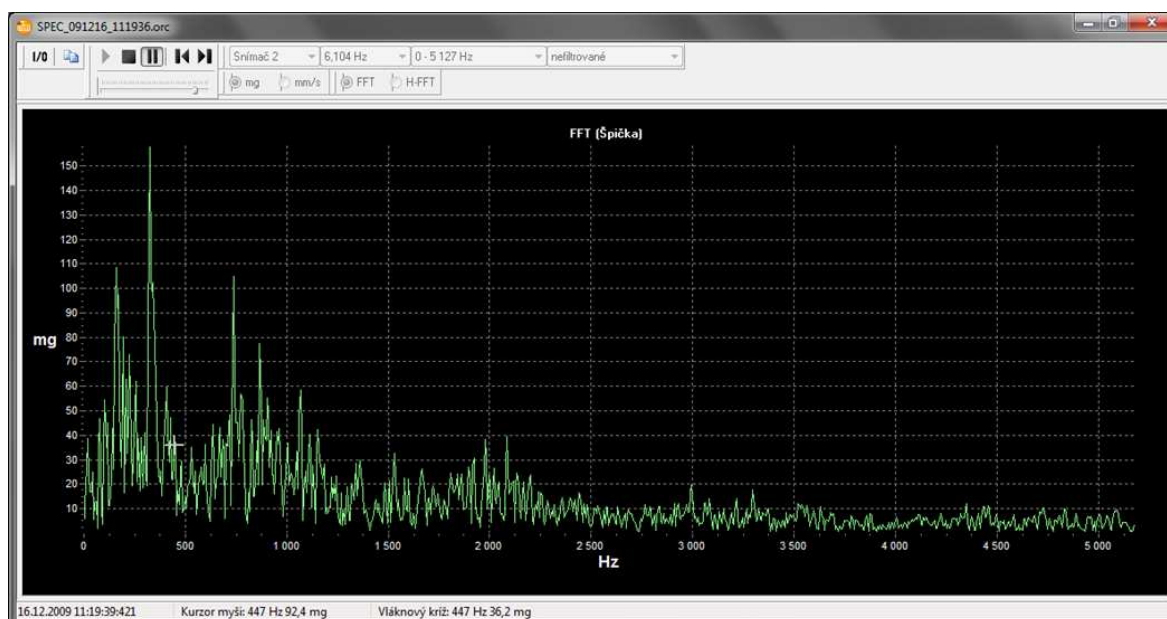


Obr. 38: Frekvenční spektrum pro měřicí bod po preventivní výměně ložisek

Spektrum FFT zrychlení vibrací z měřicího bodu před výměnou ložisek je zobrazeno na obrázku 39. Byl nastaven frekvenční rozsah 0Hz ÷ 5,127kHz. Ve spektru jsou viditelné špičky na nižších frekvencích, které zobrazují výrobní proces a které nemají vztah k charakteru poškození námi sledovaných ložisek. Hladina vibrací v okolí 2kHz je nepatrně vyšší, avšak nevypovídá o havarijním stavu.

Po výměně ložiska a jeho následné analýze byl patrný rozsáhlý pitting po celé délce vnitřní valivé dráhy, avšak tento charakter poškození není v naměřeném spektru patrný. Celková průměrná hladina je zvýšená oproti stavu nového ložiska z 250 mg na 350 mg. Viditelná změna se projevila pouze v podobě nárůstu hodnot na nižších frekvencích (0Hz ÷ 1kHz), ale na námi sledovaném rozsahu (2kHz ÷ 5kHz) žádnou viditelnou změnu nezaznamenáváme. Po celou dobu on-line sledování stavu ložisek se kopíruje mlecí

proces, který ve výsledné celkové efektivní hodnotě přebíjí rámec námi hlídané frekvenční oblasti, kde by se měl vyskytovat defektní vysokofrekvenční šum způsobený pittingem.



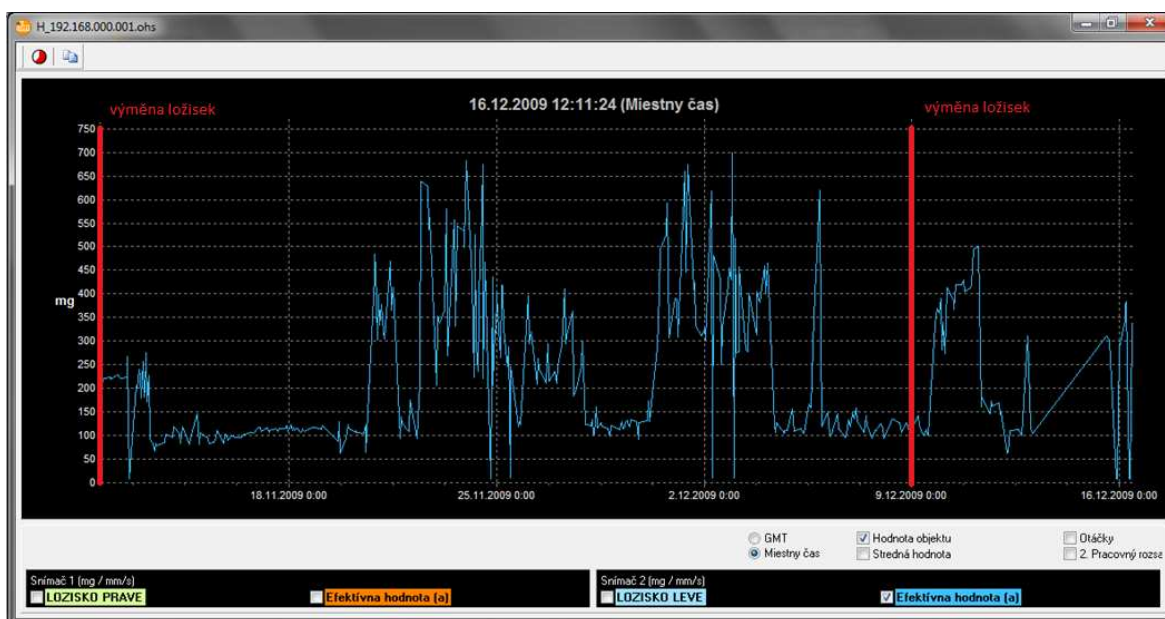
Obr. 39: Frekvenční spektrum pro měřicí bod 1 před výměnou ložisek

9.3.4 Vyhodnocení a trend

Z hlediska monitorování stavu prostředky vibrační diagnostiky se nejedná o detekci signálu na poruchových frekvencích ložiska. Vzhledem k tomu, že nedochází ke standardnímu lokálnímu poškození ložiska, ale k opotřebení po celé dráze odvalovací plochy, nelze použít obálkovou metodu (monitorování velikosti poruchových amplitud ložiskových frekvencí).

Poškození vyskytující se na vnitřním kroužku ložiska by bylo možné detekovat pomocí širokopásmové analýzy FFT spektra zrychlení, ve kterém je prvotní poškození ložiska prezentováno zvyšující se energií vysokofrekvenčních náhodných vibrací v pásmu cca 2kHz ÷ 5kHz. Toto systém imf octavis neumožňuje (nastavení je pouze od nuly). V rozsahu 0 ÷ 2kHz se vyskytují strukturální frekvence hřídelí linky BIVIS, popřípadě frekvence související s výrobním procesem, které ovlivňují energii spektra FFT a které překryjí možné detekování počátku poškození ložisek. Největší chybou v záznamu trendu pro naše použití je zaznamenávání maximální naměřené hodnoty v předem definovaném časovém intervalu. Maximální hodnota pak téměř nikdy nesouvisí s charakterem poškození

ložiska, ale s výrobním procesem, kdy hodnota efektivní hodnoty zrychlení dosahovala vlivem mlecích rázů či zásahem obsluhy až 12000 mg.



Obr. 40: Trend naměřených hodnot FFT zrychlení

Výměna ložisek byla provedena 9. 11. 2009 a následně 9. 12. 2009 (v grafu jsou výměny vyznačeny červeným pruhem). V trendu je patrné, že vlivem zaznamenávání maximální hodnoty nedochází ke klasickému průběhu poškození (viz. Vanová křivka), ale je sledován stav mohutnosti vibrací mlecího procesu.

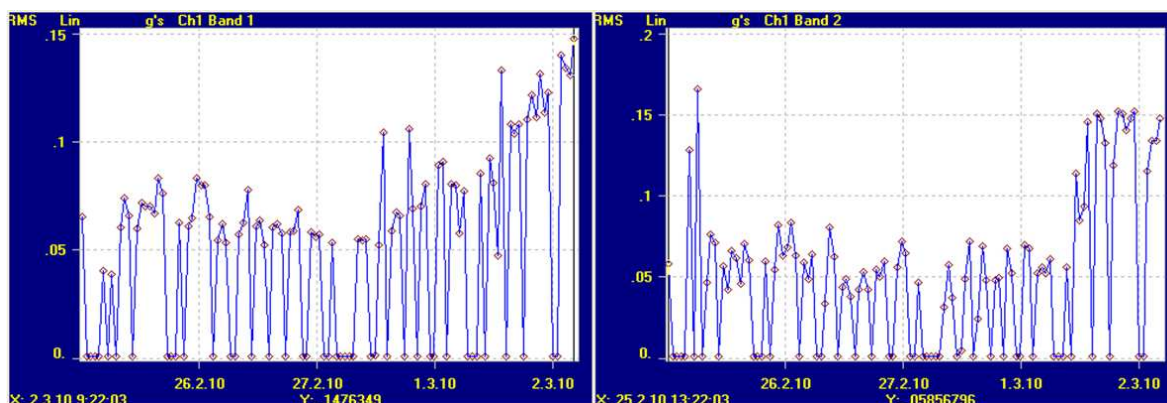
9.4 Aplikace on-line diagnostického systému XM

9.4.1 Nastavení software

Nastavení software je obdobné jako u octavis s jedním podstatným rozdílem, jež spočívá v možnosti nastavení frekvenčního rozsahu a to na námi zvolené hodnoty (2,5kHz ÷ 5kHz). Pro měření byly použity obdobně jako u octavis dva parametry měření a to FFT zrychlení vibrací a FFT obálka zrychlení (gSE – spike energy). Oba parametry byly snímány v efektivní hodnotě.

9.4.2 Trend hodnot vibrací

Trend FFT zrychlení a gSE vibrací z daného měřicího bodu je zobrazen na obrázku 41. U FFT zrychlení vibrací díky zvolenému frekvenčnímu rozsahu ($2,5\text{kHz} \div 5\text{kHz}$) můžeme sledovat nárůst mohutnosti náhodných vysokofrekvenčních vibrací, jež jsou charakteristické pro dané poškození ložisek. U FFT zrychlení gSE vibrací není nárůst vibrací lineární z důvodu klasického nastavení frekvenčního rozsahu ($0\text{Hz} \div 5\text{kHz}$).



Obr. 41: Trend FFT zrychlení (vlevo) a zrychlení gSE (vpravo)

9.4.3 Vyhodnocení

Z naměřeného trendu FFT zrychlení s frekvenčním rozsahem $2,5\text{kHz} \div 5\text{kHz}$ je patrný nárůst efektivních hodnot vibrací. U XM modulu se neukládá maximální hodnota v daném časovém intervalu, ale je ukládána vždy aktuální hodnota v pravidelných hodinových intervalech.

Tento systém by bylo možné použít při vyhodnocování stavu ložisek na mlecí lince BIVIS pro včasnou detekci rozsáhlejšího charakteristického poškození ložisek.

10 Závěr

Systém efector octavis, jež byl aplikován na mlecí linku BIVIS, se projevil jako nevyhovující pro dané strojní zařízení s charakteristickým poškozením ložisek. U tohoto systému není možné nastavit měřicí frekvenční rozsah $2,5\text{kHz} \div 5\text{kHz}$, ve kterém se vyskytuje charakteristické poškození ložisek. Při měření v úplném rozsahu je zaznamenáván výrobní (mlecí) proces, jež neposkytuje přesnou informaci o stavu poškození ložisek stroje.

Následně byl také vyzkoušen systém XM modul od firmy Rockwell Automation. U tohoto on-line diagnostického systému bylo možné zvolit měřicí frekvenční rozsah $2,5\text{kHz} \div 5\text{kHz}$ odpovídající danému charakteristickému typu poškození ložisek. V trendu naměřených hodnot FFT zrychlení byl patrný nárůst celkových hodnot, kdy po nastavení limitních hodnot (0,15g) je možné včas detekovat výraznější poškození ložiska a tím předcházet neplánovaným výpadkům, haváriím a prostojům stroje.

Pro efektivnější vyhodnocování stavu ložisek stroje by bylo vhodné provádět měření právě v okamžicích, kdy jede stroj naprázdno (bez přísunu materiálu).

11 Použitá literatura

- [1] VDOLEČEK, F.: Odborné časopisy dostupné z WWW
<http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=37313>
- [2] SCHENCK, C.: Preventivní údržba strojů. D-6100 Darmstadt 1, s. 13, s. 17, 1989
- [3] GABRHELOVÁ, L.: Vliv vibrací na teplotu kluzných ložisek, Diplomová práce, VŠB-TUO, 2009. Dostupné z WWW <<http://hdl.handle.net/10084/71590>>
- [4] VDOLEČEK, F.: Odborné časopisy dostupné z WWW
<http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=40375>
- [5] HESIG, L.: Technická diagnostika jako nástroj prediktivní údržby, Diplomová práce, VŠB-TUO, 2009. Dostupné z WWW <<http://hdl.handle.net/10084/71523>>
- [6] Firemní podklady firmy KOVOSVIT MAS, a. s. dostupné z WWW
<www.kovosvit.cz/cz/dalkova-diagnostika/>
- [7] Informace o společnosti OP papírna, s.r.o. dostupné z WWW
<<http://www.vitejte.cz/objekt.php?oid=1893&j=cz>>
- [8] Firemní podklady firmy imf electronic dostupné z WWW
<<http://www.imf.com/cz/octavis>>
- [9] Firemní podklady firmy SKF dostupné z WWW
<http://www.skf.com/portal/skf_cz/home>
- [10] KREIDL, M. - Šmíd, R.: Technická diagnostika. BEN – technická literatura, Praha, 2006, 408 s., ISBN 80-7300-158-6.
- [11] TŮMA, J.: Zpracování signálů získaných z mechanických systémů užitím FFT. Sdělovací technika, 1997, 195 s., ISBN 80-901936-1-7.
- [12] VDOLEČEK, F.: Když se řekne spolehlivost a diagnostika. Automatizace, 2003, roč. 46, č. 4, s. 276–280, ISSN 0005-125X.
- [13] VDOLEČEK, F. – ZUTH, D. Measurement uncertainties sources in vibration diagnostics. Technická diagnostika, XVIII, Z1/2009, s. 42, ISSN 1210-311X.
- [14] VDOLEČEK, F.: Odborné časopisy dostupné z WWW
<http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=39703>
- [15] Firemní materiály poskytnuté firmou ESOS
- [16] NAVRÁTIL, P.: Vibrodiagnostika ložisek, Bakalářská práce, Vysoké Učení Technické v Brně, 2009.